

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Měřicí přípravek pro měření síly brzdíče

Measuring Preparation for Measuring of Forces in Brake Device

Student:

Bc. Petr Stacha

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Stacha**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Měřicí přípravek pro měření síly brzdíče**
Measuring Preparation for Measuring of Forces in a Brake Device

Zásady pro vypracování:

Ve firmě DP Ostrava, která je zadavatelem této práce, je pro účely měření síly brzdíče používán mechanický měřič síly, který nemá dostatečnou přesnost. Navrhněte vhodnou rekonstrukci uvedeného snímače.

1. Proveďte rešerši metod měření sil.
2. Provéřte důvody nepřesnosti měření stávajícího měřiče síly.
3. Navrhněte variantně možnosti provedení nového měření síly.
4. Po konzultaci se zadavatelem a vedoucím diplomové práce proveďte podrobný návrh zvoleného řešení včetně pevnostní kontroly.
5. Zhotovte výkresovou dokumentaci navrženého snímače.

Seznam doporučené odborné literatury:

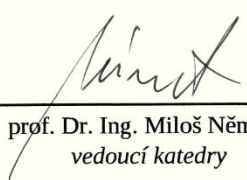
Boháček, F. *Části a mechanismy strojů I a II*. Brno: VUT Brno, 1987.
Bolek, A. a kol. *Části strojů - svazek 1. a 2.* Praha: SNTL, 1990.
Němec, J. a kol. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1989.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

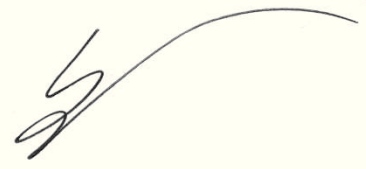
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

.....*Glacha*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19. 5. 2014

.....

Podpis

Závada 153

747 19 BOHUSLAVICE

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

STACHA, P. *Měřicí přípravek pro měření síly brzdiče: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2014, 60 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Tématem mé Diplomové práce je přípravek pro měření síly brzdiče tramvaje. Schopnost zabrzdit je jednou z nejdůležitějších vlastností každého dopravního prostředku. Ve společnosti Dopravní podnik Ostrava a.s. je schopnost brždění pravidelně kontrolována, k nastavení síly brzdiče používají mechanický měřicí přípravek, který není dostatečně přesný. Cílem Diplomové práce je zjistit důvod nepřesnosti a navrhnout vhodné varianty rekonstrukce stávajícího měřícího přípravku. Součástí práce je rešerše stávajících metod měření síly a podrobný návrh řešení včetně pevnostní kontroly a vypracování výkresové dokumentace navrženého měřícího snímače.

ANNOTATION OF THE DIPLOMA THESIS

STACHA, P. *measuring Preparation for Measuring of Forces in Brake Device: Diploma thesis*. Ostrava : VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2014, 60 p. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

The topic of my Diploma Thessis is Measuring Preparation for Force Measuring in a Brake Device. The ability to brake is one of the most important property of every conveyance. At the company Dopravní podnik Ostrava a. s. this ability is regularly monitored, there is a mechanical measuring preparation used for the measuring of forces in a brake device, but that is not sufficiently accurate. The Target of the Diploma Thessis is to find the reason of inaccuracy and design appropriate options of reconstruction of the existing measuring Prearation. Part of the Thesis is the research already existing methods of the force measuring and the detailed solution including strength controls and development drawings of the designed measuring preparation.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	7
1 Úvod	8
2 Teoretická část.....	9
2.1 Měření	9
2.2 Měření síly	10
2.3 Rozdělení snímačů	11
2.4 Příklady siloměrů dostupných na trhu.....	17
3 Stávající stav.....	22
3.1 Čelist'ová brzda a brzdič	22
3.2 Údržba brzdy a brzdiče	24
3.3 Kontrola tlaku brzdiče.....	25
3.4 Přesnost měření stávajícího zařízení	26
4 Vlastní návrh řešení problematiky.....	33
4.1 Konstrukční úprava stávajícího mechanického přípravku	33
4.2 Měřicí přípravek s využitím odporových tenzometrů vlastní výroby.....	39
4.3 Měřicí přípravek s využitím nakupovaného „S“ snímače.....	47
5 Pevnostní kontrola daných částí měřícího přípravku	52
5.1 Vidlice	52
5.2 Závitová tyč.....	53
6 Závěr.....	57
7 Seznam použité literatury	58
8 Seznam příloh.....	60

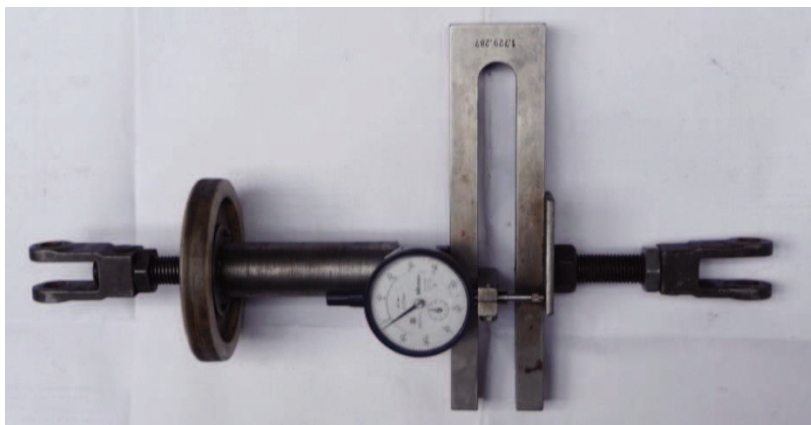
Seznam použitých zkratk a symbolů

E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F	[N]	síla ve třmenu
F_{krit}	[N]	kritická síla
G	[N]	tíhová síla
H_1	[mm]	nosná hloubka závitu
J_{min}	[mm ⁴]	minimální kvadratický moment
K_s	[-]	statická bezpečnost
M_o	[N·m]	ohybový moment
P	[mm]	rozteč závitu
R	[Ω]	elektrická odpor vodiče
R_1	[mm]	rádus
R_e	[MPa]	mez kluzu v tahu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
S	[mm ²]	průřez vodiče
U_m	[V]	výstupní napětí z tenzometru
W_o	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
W_k	[mm ³]	průřezový modul v krutu
a	[m.s ⁻²]	zrychlení
b,c	[mm]	rozměry vidlice
d	[mm]	průměr závitu
$d_{\check{c}}$	[mm]	průměr čepu vidlice
f_z	[-]	součinitel smykového tření na závitu
k	[-]	konstanta tenzometru
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
k_s	[-]	statická bezpečnost
h_m	[mm]	potřebná délka zašroubování závitu
n	[-]	počet aktivních tenzometrů
p_d	[MPa]	dovolený měrný tlak
p_{dz}	[MPa]	dovolený měrný tlak v závitech
z	[-]	počet závitu
α	[°]	úhel stoupání metrického závitu
ε	[-]	poměrné prodloužení
σ_{op}	[MPa]	napětí ve třmenu
σ_d	[MPa]	napětí v tlaku
φ	[°]	redukovaný třecí úhel závitu
ψ	[°]	úhel stoupání závitu

1 Úvod

Práce vznikla na základě požadavku zadavatele, jímž byla firma Dopravní podnik Ostrava a.s., Poděbradova 494/2, Moravská Ostrava, 702 00 Ostrava (dále v textu jen DPO). Předmětem řešení byla nesprávná činnost měřícího přípravku sloužícího pro nastavení síly brzdíče.

Vzhledem k tomu, že městská hromadná doprava skýtá spoustu rizik v oblasti bezpečnosti přepravy osob, jsem přesvědčen o tom, že vyřešení tohoto nalezeného problému může výrazně pomoci ke snížení rizika špatné funkce brzdového systému, což by mohlo zapříčinit samovolné uvedení vozu do pohybu. Konkrétně se jedná o aretační čelistovou brzdu, sloužící k zabrzdění vozu při malé rychlosti nebo při selhání elektrodynamické brzdy tramvaje. Tato brzda je ovládána pomocí elektromagnetického brzdíče. Dosavadní kontrola správného nastavení brzdíče je zajišťována při periodických kontrolách za pomoci mechanického siloměru MS 32, který při vícečetných měřeních jednoho brzdíče vykazuje různé výsledky měření. Odstraněním této odchylky dojde ke zpřesnění funkce čelistové brzdy a tím pádem k posílení bezpečnosti tramvajových vozů při provozu a parkování souprav.



Obr. 1.1 - Foto stávajícího měřícího siloměru

Cíle práce:

- Provést rešerši metod měření sil
- Určit důvody nepřesnosti měření pomocí stávajícího měřícího zařízení
- Navrhnout variantně možnosti nového provedení měřícího zařízení
- Po konzultaci se zadavatelem a vedoucím diplomové práce provést podrobný návrh zvoleného řešení včetně pevnostní kontroly
- Zhotovit výkresovou dokumentaci vybraného provedení snímače

2 Teoretická část

V této kapitole vysvětlím základní pojmy k měření síly jako je měření, metoda měření a postup měření. V další části definuji základní druhy snímačů síly, základní princip jejich fungování a uvedu některé vybrané snímače, které jsou dostupné na českém trhu.

2.1 Měření

Měření je soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu měřené fyzikální veličiny. Způsob, jakým se měření provádí, se nazývá metoda měření. Každá metoda je založena na určitém principu. Stejnou fyzikální veličinu je možné měřit různými způsoby, různými metodami. Kterou pro konkrétní případ zvolíme, závisí na druhu a povaze měřené veličiny a na tom která měřidla použijeme.

Metody měření je možné rozdělit do několika skupin:

1. přímé - metody, u nichž zjišťujeme hodnotu fyzikální veličiny přímo odečtením na stupnici použitého měřidla - měření teploty teploměrem, měření délky milimetrovým měřidlem, měření odporu kovového vodiče ohmmetrem atd.,
2. nepřímé - metody, u nichž hodnotu fyzikální veličiny stanovíme na základě určitého fyzikálního vztahu z hodnot jiných veličin (změřených jinou metodou).

Jiným dělením dostáváme metody:

1. absolutní - metody poskytující hodnotu měřené veličiny přímo v příslušné jednotce - čas v sekundách, hmotnost v kilogramech, elektrický proud v ampérech atd.,
2. relativní (srovnávací) - měření spočívá v porovnání měřené veličiny s danou známou hodnotou veličiny téhož druhu, s tzv. normálem (etalonem). Normály jsou závaží, délková měřidla.

Při měření postupujeme zpravidla ve třech krocích:

1. Příprava měření - seznámit se s poznatky, které se týkají měřené veličiny, zvolit vhodný postup měření a odpovídající metodu měření, vybrat potřebná měřidla a naučit se s nimi pracovat, zvážit vnější podmínky a jejich případný vliv na výsledky měření (teplota a tlak vzduchu, mechanické otřesy, tření, ...), naplánovat postup měření
2. Vlastní měření
3. Zpracování výsledků měření

2.2 Měření síly

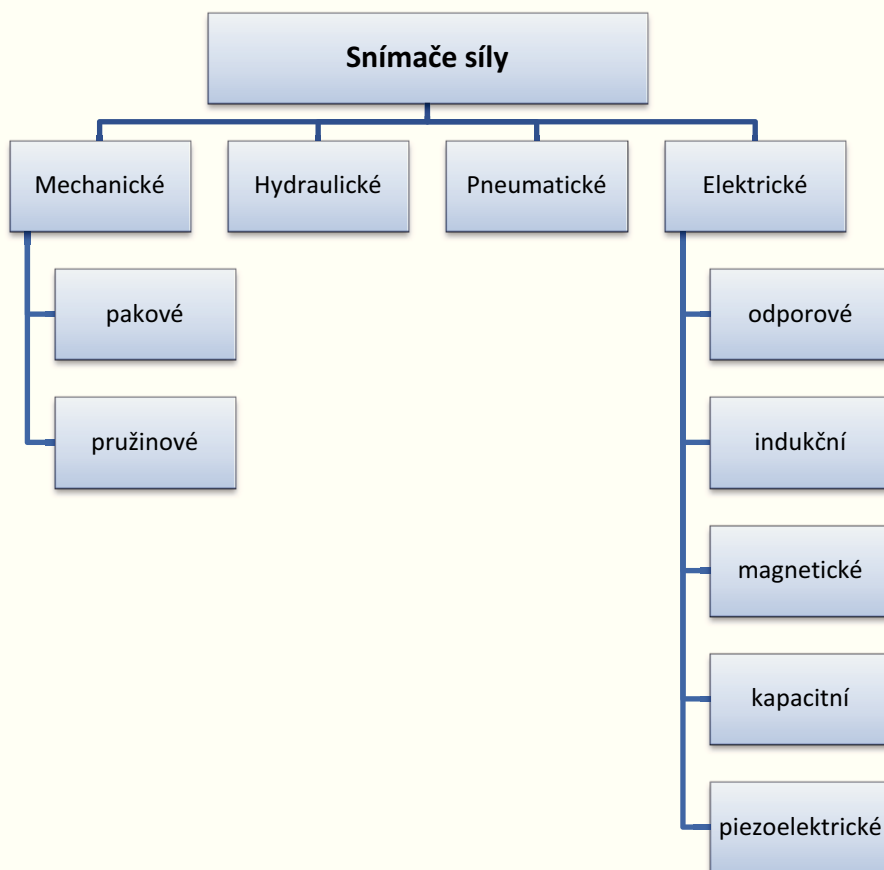
Přístroj, kterým je síla měřena se nazývá snímač síly (siloměr). Při měření síly se nejčastěji využívá Hookuv zákon, který definuje pružnost jako vlastnost těles nabýt původního tvaru, přestane-li na ně působit síla, která vyvolala její přetvoření [10]. Jedná se o vratnou deformaci, při odlehčení se rozměry vrátí na původní hodnoty.

Přímé měření síly se převádí na měření deformace. Snímač síly je pak tvořen pružným členem a snímačem polohy, výchylky nebo deformace. Na samotný pružný prvek je kladeno několik požadavků – lineární závislost deformace na síle, časová stálost, necitlivost na boční síly př. momenty, malá hystereze, vysoká tuhost zajišťující minimální mechanické posuvy v měřené soustavě a malé rozměry.

Každý měřič síly má jiné parametry jako je rozsah, přesnost, přetížení, charakter a velikost výstupního elektrického signálu. Podle použitých snímačů deformace rozlišujeme snímače mechanické, hydraulické, pneumatické a elektrické viz. obr. 1.1.

2.3 Rozdělení snímačů

V praxi jsou jednotlivé druhy snímačů síly, neboli siloměrů rozděleny do několika skupin viz obr. 2.1.



Obr. 2.1 - Rozdělení snímačů

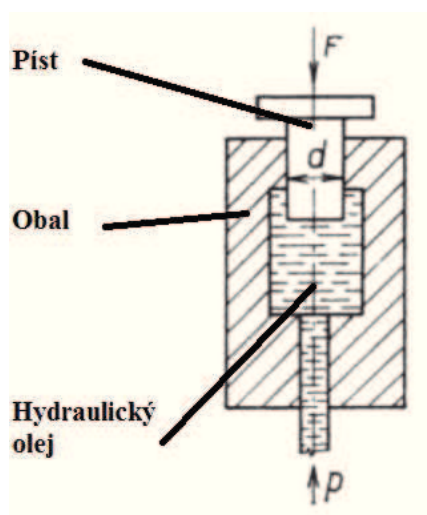
Mechanické snímače

U této skupiny měřicích snímačů se zatěžující síla zjišťuje na základě deformace přenosového členu. Některé mechanické siloměry se využívají při cejchování elektronických siloměrů z důvodů vysoké stálosti a přesnosti.

U pružinových snímačů síla působí na jeden konec pružiny, druhý je pevně uchycen. Prodloužení nebo stlačení pružiny je úměrné síle. Příkladem jsou pružinové siloměry a váhy. Příkladem pákových snímačů je např. váha s protizávažím.

Hydraulické snímače

Hydraulické snímače pracují na principu působení síly na píst, který stlačuje kapalinu. Tlak v kapalině se měří a je úměrný síle. U hydraulického snímače s válcovou membránou se využívá síla působící na zátěžovou hlavu, která je pak přenášena na píst, jenž zpětně stlačuje plnicí kapalinu uzavřenou v elastické membránové komoře. Když síla vzrůstá, zvyšuje se tlak hydraulické kapaliny. Tlak lze pak indikovat místně nebo přenášet pro vzdálenou indikaci nebo řízení. Výstup je lineární a relativně bez vlivu teploty nebo množství plnicí kapaliny.



Obr. 2.2 - Schéma hydraulického siloměru [12]

Pneumatické snímače

Pneumatické metody využívají také princip rovnováhy sil. Tyto snímače využívají vícenásobných komor a dosahují vyšší přesnosti. Pneumatické snímače síly jsou často používány k vážení relativně malých hmotností v průmyslu, kde je čistota a bezpečnost primární. K jejich výhodám rovněž patří bezpečnost ve výbušném prostředí a také necitlivost na teplotní změny. Navíc neobsahují žádné kapaliny a nemohou tak kontaminovat proces při porušení membrány. Nevýhodou je poměrně malá rychlost odezvy a nutnost přívodu čistého suchého a regulovaného vzduchu nebo dusíku.

Neelektrické metody měření deformace se používají ve výjimečných případech pouze pro přímá měření u strojů. U naprosté většiny měřičů sil se používají elektrické metody měření deformace.

Elektrické snímače

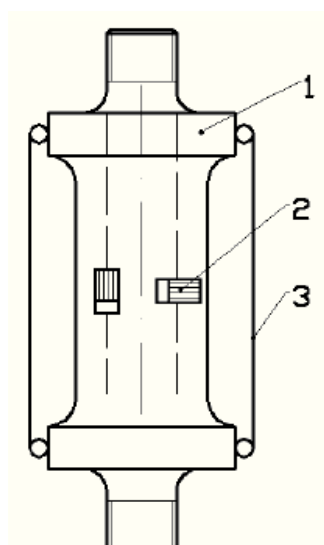
Elektrické snímače využívají principu tlakové závislosti některých elektrických veličin. Jsou významným prvkem měřicí a automatizační techniky. Tyto snímače, konkrétně kovové tenzometry, jsou použity ve většině elektromechanických vah, protože jsou dlouhodobě stabilní a mají vysokou přesnost.

Odporové snímače síly

Odporové snímače lze rozdělit na snímače tenzometrické a snímače se stykovým odporem (uhlíkové).

Tenzometrické snímače využívají pružné členy pro převod měřené síly na deformaci, která se měří odporovými tenzometry. Pružný člen musí být dostatečně pevný a odolný proti porušení, s vysokou mezí pružnosti, minimální hysterezi a dopružování materiálu, minimální vnitřní pnutí a dlouhodobou stabilitu mechanických veličin. Je tedy důležité, aby byl pro pružný člen zvolen vhodný materiál, který byl vhodně tepelně zpracován.

Na deformačním členu jsou na vhodném místě nalepeny odporové tenzometry tak, že vytvářejí odporový můstek. Tenzometry umožňují realizaci snímačů sil v největším rozsahu a s vysokou přesností. Relativní chyba dosahuje u některých konstrukcí jen 0,04%. Pro zvýšení citlivosti se zapojuje do jedné větve více tenzometrů (např. dva tenzometry pro tah a dva pro stlačení). Proud procházející snímačem je limitován dovoleným oteplením.



Obr. 2.3 - Siloměr pro tah a tlak. [11]

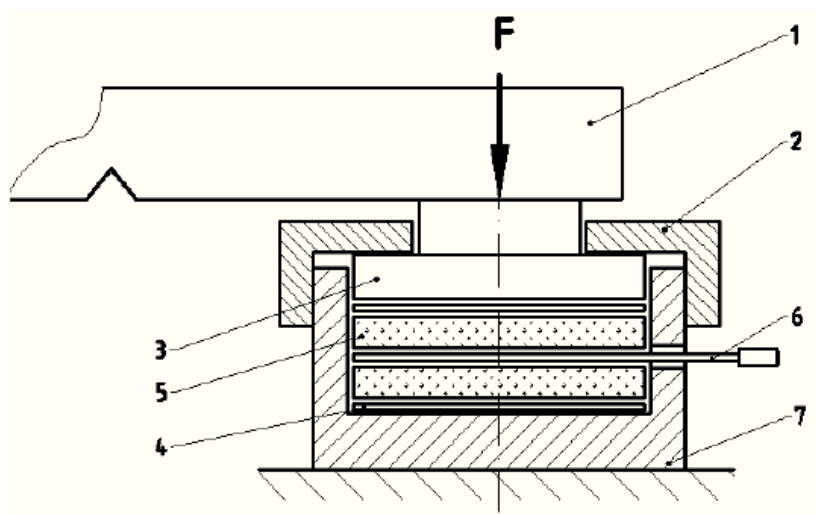
1 - Tělo siloměru, 2 - měřicí tenzometry, 3 - ochranný plášť

Snímače se stykovým odporem využívají změny odporu tenkých uhlíkových destiček se změnou působící síly. Jsou vhodné pro provozní měření.

Piezoelektrické snímače síly

Metoda k měření síly využívá piezoelektrické krystaly. Je využívána ve snímačích, které měří rázové děje nebo děje s proměnami v řádu mikrosekund (dynamické síly). Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu krystalu je křemen, který se vyznačuje vysokou tuhostí a širokým teplotním rozsahem (do 500°C).

Silovým působením na destičku vyříznutou pod vhodným úhlem z krystalu, který má piezoelektrické vlastnosti, dochází k elektrické polarizaci. Jestliže jsou na povrchu destičky elektrody, pak se na nich vytvoří náboj. Napětí na elektrodách mizí, pokud deformace zanikne.



Obr. 2.4 - Tlakový piezoelektrický siloměr [11]

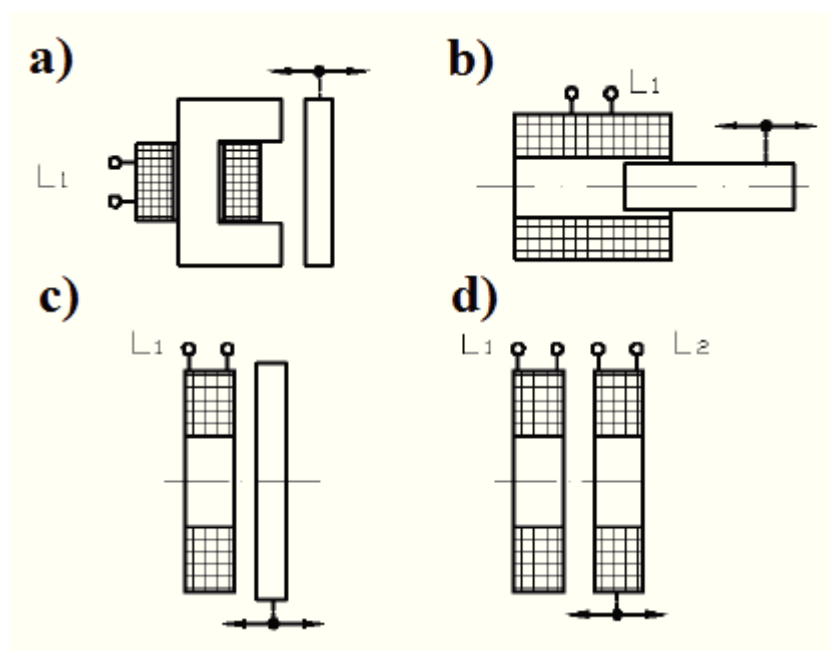
1- vzorek, 2- objímka, 3- přenosový člen (víčko), 4- tlumící vložky, 5- krystaly, 6- stříbrná vložka, 7- tělo siloměru

Indukční snímače síly

Podobně jako u tenzometrických snímačů se i u indukčních využívá deformační člen, jehož deformace je snímačem měřena. Skládá se z cívky (nebo soustavy cívek) a jádra, které je buď feromagnetické, nebo neferomagnetické elektricky vodivé. Snímač je spojen s deformačním členem a vlivem jeho deformací dochází k jejich vzájemnému posunutí nebo změně elektrických vlastností – mění se indukčnost cívky.

Podle principu funkce se indukční snímače dělí:

- Snímač s malou vzduchovou mezerou
- Snímač s otevřeným magnetickým obvodem
- Snímač s potlačeným polem
- Snímač bez feromagnetika



Obr. 2.5 - Základní typy indukčních snímačů. [12]

- a) s malou vzduchovou mezerou, b) s otevřeným magnetickým obvodem,
c) s potlačeným polem, d) bez feromagnetika

Kapacitní snímače síly

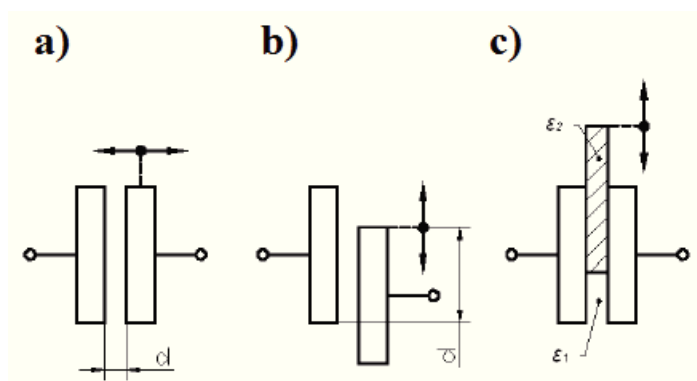
Tyto snímače využívají změnu vzdálenosti elektrod. Jako deformační člen se používá většinou desky, která tvoří zároveň jednu (aktivní) elektrodu kondenzátoru. Při působení síly se mění vzdálenost mezi elektrodami, plocha elektrod, a tedy i kapacita kondenzátoru.

Podle funkce se kapacitní snímače dělí do tří hlavních skupin:

- Mezerové – mění se velikost mezery
- Překrývající – mění se plocha elektrod
- S proměnnou permitivitou

Je nutné dbát, aby při měření nedocházelo ke změnám teploty okolí, jelikož jednotlivé části snímače jsou vyrobeny z různých materiálů a mají tudíž různé součinitele teplotní roztažnosti, což by mohlo způsobit značné chyby měření.

Výhodami použití těchto siloměrů je jednoduchá konstrukce, montáž i obsluha, dále časová stálost a nulový vliv rušivých magnetických polí na funkci snímače.

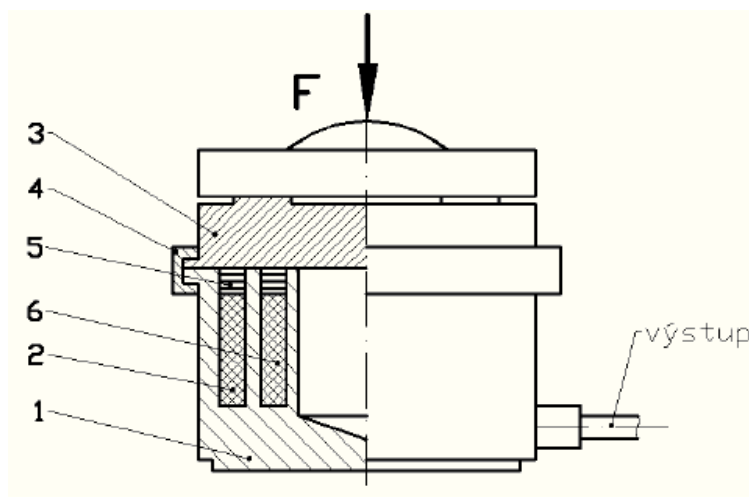


Obr. 2.6 - Základní principy funkce kapacitních snímačů. [12]

a) mezerový, b) překrývají, c) s proměnnou permitivitou

Magnetické snímače síly

Magnetoelastický snímač je tvořen uzavřeným magnetickým obvodem (deformační člen), při jehož deformaci dochází k změnám magnetických vlastností. Ze změny magnetických vlastností je možné určit změnu mechanického napětí. Při změně mechanického napětí ve feromagnetickém materiálu se mění jeho permeabilita a při uzavřeném magnetickém obvodu s alespoň jedním vinutím dojde ke změně indukčnosti a tedy impedance cívky. Snímače tohoto typu jsou jednoduché a spolehlivé, vhodné pro těžké provozy. Pro výrobu se používá permalloyová slitina (78,5% Ni), někdy se též používá obyčejná měkká ocel. Maximální dovolené přetížení bývá 100%.



Obr. 2.7 - Schéma magnetoelastického snímače. [12]

1- magnetický obvod (deformační člen), 2- vinutí snímače, 3- kryt,

4- objímka, 5- kroužky, 6- vnitřní vinutí

Magnetoanizotropní snímač je založen na změně magnetické vodivosti vlivem deformace feromagnetického jádra. Magnetoanizotropní snímače síly se realizují vždy jako transformátorové. Snímač je necitlivý na vnější magnetické pole.

2.4 Příklady siloměrů dostupných na trhu

V této části budou prezentovány konkrétní vybrané siloměry podle jednotlivých druhů, které byly definovány v předchozím oddílu.

Pružinový válcový siloměr od společnosti SometCZ s. r. o.

Jedná se o siloměr založen na nejjednodušším principu, tzv. mincíř. Vyrábí se v měřicím rozsahu od 1 do 1000 N. Je složen z poniklovaného vnějšího obalu včetně háku a oka, vnitřní trubice je postříbřená. Měřicí přístroj je vybaven černou stupnicí v gramech pro měření hmotnosti.

Přístroj měří s přesností $\pm 1\%$ z celkové hodnoty. Ochrana proti přetížení je 20% maximálního zatížení. Cena se pohybuje v rozmezí od 2000 do 6000 Kč v závislosti na vybraném typu přístroje.



Obr. 2.8 - Pružinový siloměr SometCZ [14]

Mechanický siloměr Sauter FA 500

Jedná se o mechanický siloměr pro měření tahu a tlaku se záznamem maximálních hodnot. Má duální stupnici, která zobrazuje výsledek v N i Kg. Pro snadné kalibrování přístroje lze otáčet stupnici. Snímač má funkci tárování (možnost eliminace držáku měřeného objektu nebo nádoby).

Rozsah měření síly je 500 N. Měření lze provádět ručně nebo je možné siloměr instalovat na všechny ruční zkušební stojany. Ochrana proti přetížení je 50%. Přístroj měří s přesností 1%. Cena tohoto přístroje se pohybuje okolo 7 000 Kč.



Obr. 2.9 - Mechanický siloměr Sauter FA 500 [15]

Pákový mechanický siloměr od firmy SometCZ s. r. o.

Jednoduchý siloměr, který se používá pro testování působícího tlaku. Bod měřidla se umístí kolmo k síle, která má být změřena. Displej umožňuje čtení v obou směrech. Přídavná otočná ručička zaznamenává poslední naměřenou hodnotu. Měřidlo je přesné a odolné.

Přesnost měření je $\pm 2\%$ z rozsahu měření. Měřicí rozsah je 10 – 100 N. Cena se pohybuje okolo 18 000 Kč.



Obr. 2.10 - Pákový siloměr od firmy SometCZ [16]

Hydraulický siloměr Tectsis model F1108

Jedná se o hydraulický snímač síly z pozinkované oceli. Je konstruován pro přímé napojení manometru nebo displeje přes kapilární trubičku. Je vhodný k měření kompresní zátěže. Rozsah měření je do 2500 kN, maximální odchylka je 1,6%.



Obr. 2.11 - Hydraulický siloměr Tectsis model F1108 [17]

Odporový siloměr od společnosti MICRONIX, spol. s r.o., model FG 6100 SD

Jedná se o odporový siloměr pro měření tahu a tlaku s rozsahem do 100 kg. Přístroj umožňuje volbu jednotky (Kg, Lb, N). Naměřená data lze zaznamenat na paměťovou SD kartu. Přístroj je napájen AA 1,5V bateriemi nebo 9V adaptérem. Přístroj měří s přesností $\pm 2\%$. Cena se pohybuje okolo 15 000 Kč.



Obr. 2.12 - Odporový siloměr MICRONIX FG 6100 SD [18]

Profesionální siloměr Sauter FH 1K

Jedná se o profesionální digitální odporový siloměr, který měří tah i tlak. Lze ho použít pro velmi přesné testování pevnosti. Odchylka měření je max. 0,2% . Rozsah měření síly na přístroji je max. 1000 N. Přístroj disponuje programem pro základní statistiku měření, funkci mezních hodnot pro kontrolu (dobře/špatně), průměrné hodnoty. Možnost zobrazení je v N, Lb a Kg. Přístroj má funkci tárování. Cena přístroje se pohybuje okolo 22 000 Kč.



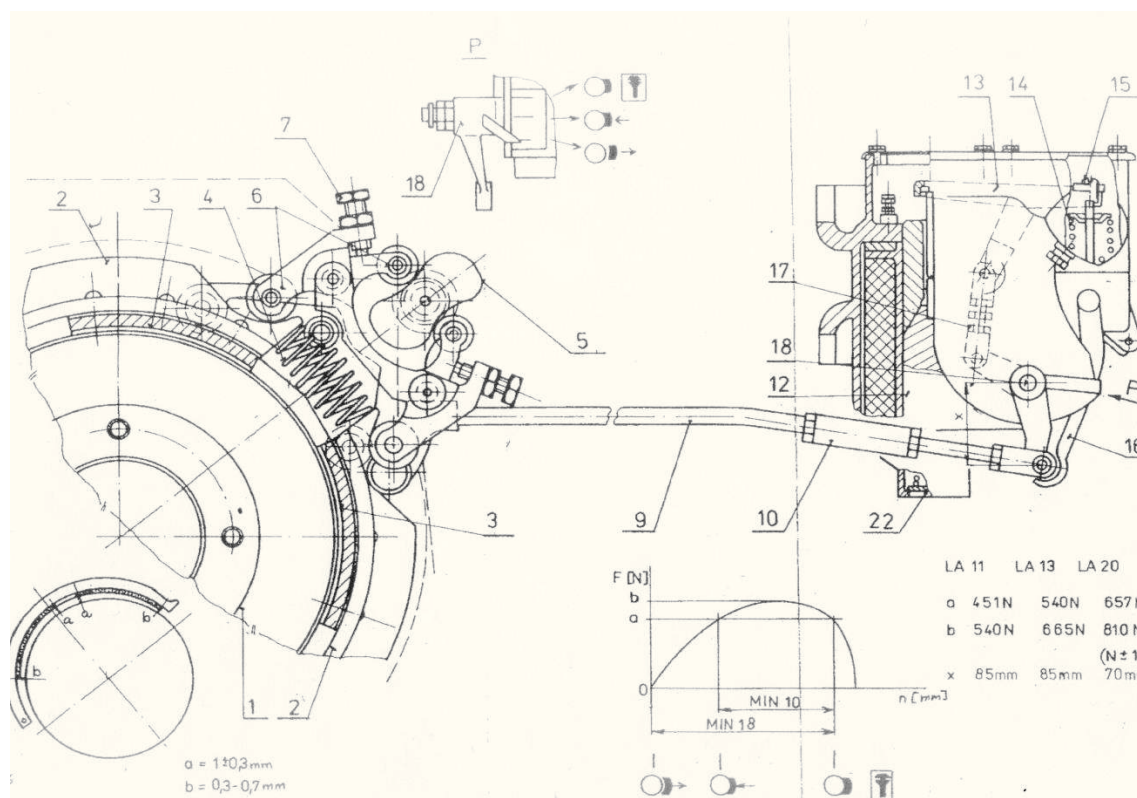
Obr. 2.13 - Profesionální siloměr Sauter FH 1K [19]

3 Stávající stav

Společnost DPO kontaktovala VŠB-TU Ostrava a požádala o analýzu měřicího přípravku pro měření síly brzdíče a návrh vhodné konstrukční úpravy, aby bylo dosaženo větší přesnosti měřených výsledků.

3.1 Čelist'ová brzda a brzdič

Čelist'ová brzda viz obr. 3.1, slouží k mechanickému brždění trakčního motoru, jedná se o aretační brzdou (ruční brzda). Používá se pouze při selhání brzdy elektrodynamické nebo malé rychlosti vozu. Brzda je upevněna na štítu motoru, skládá se z brzdového bubnu 1 s přírubou umístěného na hřídeli a dvou čelistí 2 s brzdovým obložením 3, které přiléhá z vnější strany na brzdový buben. V stavu klidu jsou čelisti odtlačovány pružinou 4. Jsou ovládány pomocí táhla 9, rozevíracím klíčem 5 a pákovým mechanismem s kladičkami 6. Vzdálenost mezi odbrzděnými čelistmi se dá regulovat nastavovacími šrouby 7. Čepy pákového mechanismu jsou domazavány pomocí mazniček.



Obr. 3.1 - Schéma zapojení brzdiče s čelist'ovou brzdou

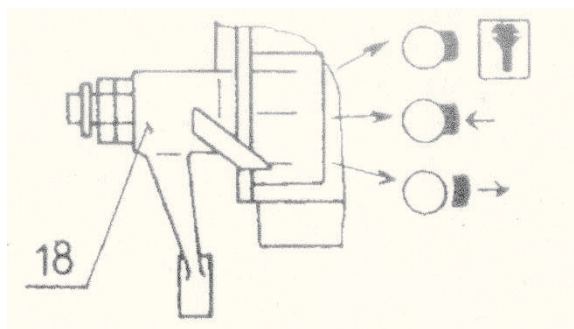
Brzdič viz obr. 3.1, slouží k ovládání čelistové brzdy. Je s ní spojen táhlem 9, jehož délku lze nastavit pomocí pravolevé matice s proti maticí 10. Součástí brzdiče je elektromagnet, jehož jádro je vytlačováno tříramennou pákou 13 pomocí stlačené pružiny 14. Tlak pružiny je nastavitelný šroubem pod horním víkem 15, lze ho zcela zrušit tahem za odbrzdňovací páčku 16. Tříramenná páka je pomocí čepu spojena s vyrovnávacím pákovým mechanismem 17 a ovládací pákou 18 s indikátorem polohy brzdy a táhlem 9. Čep ovládací páky 18 je opatřen maznicí pro tlakové mazání, čepy pákového mechanismu lze mazat olejem. Poměr tahové síly mezi táhlem a pružinou se nastavuje pomocí středního pravolevého šroubu pákového mechanismu 17.

Součástí brzdiče je ukazatel viz obr. 3.2, který má tři rysky, zobrazeno tabulka 3.1

Tab. 3.1 - Ukazatel stavu brzdiče

Ukazatel	Stav
0	Zabrzděno
1	Odbrzděno
2	Seřízení

Pokud se ukazatel zabrzdného brzdiče přibližuje k rysce 2, je možné otáčením pravolevé matice na táhlu vrátit ukazatel do polohy 1.



Obr. 3.2 - Detail polohy brzdiče

Pokud přes cívku elektromagnetu prochází proud, jádro překoná tlak pružiny, ukazatel se nastaví do polohy „odbrzděno“. Stejného efektu se docílí i vysunutím odbrzdňovací páky. Jestliže cívkou proud neproudí, tlak pružiny způsobí brždění.

V praxi se používají 3 typy brzdičů: LA11, LA13 a LA20 viz tabulka 3.2, které se liší hodnotou brzdné síly.

Tab. 3. 2 - Druhy brzdíčů

Typ	LA11	LA13	LA20
a	451 N	540 N	657 N
b	540 N	665 N	810 N

Maximální nastavovaná síla na brzdíči tramvaje je dle tabulky 810 N. Pro Vpočet předpokládám možnost 20 % přetížení, což je zaokrouhleně 1000 N. Pro výpočty napětí a deformaci měřícího členu při různých simulačních scénářích byla tedy použita tato hodnota.

3.2 Údržba brzdy a brzdíče

Pro DPO je důležité, aby jak čelistová brzda, tak brzdíč fungovaly správně, tedy aby měly stálou brzdnou sílu. Proto probíhá pravidelně kontrola a případné znovunastavení správné síly brzdíče v různých intervalech:

Čelistová brzda se kontroluje současně s trakčním motorem každých 14 dní. Musí se zjistit stav opotřebení brzdových čelistí a zkontrolovat rysku na brzdíči. Pokud je ukazatel při zabrzděných čelistech mezi ryskami „Zabrzděno“ a „Nastavit“, je systém v pořádku, pokud je ukazatel v poloze „Nastavit“, je nutné provést nové nastavení brzdových čelistí.

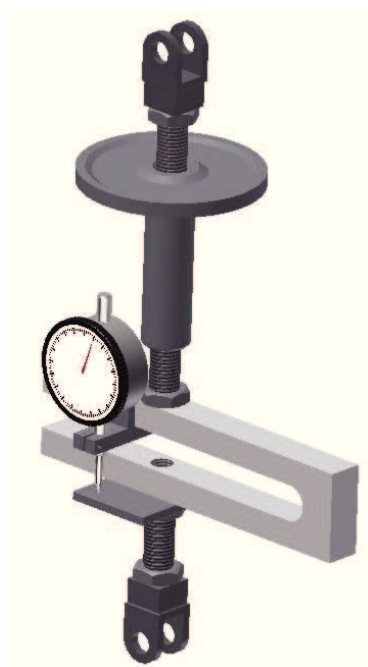
Po ujetí cca 5000 km dochází k doplnění mazacího tuku na všechny čepy čelistové brzdy, hlavní hřídel brzdíče. Ložiska se namažou olejem. Po 50 000 km musí dojít k podrobnější kontrole brzd, která zahrnuje:

- Kontrolu vůle mezi hřídelem a klíčem
- Vyčištění případně výměna kontaktů
- Kontrola otláčení hlavního čepu (po ujetí cca 24 000 km)
- Kontrola izolace
- Kontrola tlaku brzdíče s užitím siloměru
- Opotřebení brzdového obložení, případně jeho výměna (po výměně musí následovat nastavení brzdových čelistí a brzdíče)

Po ujetí 150 000 km se brzdič rozebere, vyčisti a prohlédne, zkontrolují se bříty ložisek, cívka, čepy, klouby a jádro magnetu se promaže tukem, očistí se pomocné kontakty. Poté je nutné brzdič znovu seřadit.

3.3 *Kontrola tlaku brzdiče*

Jak již bylo uvedeno, DPO používá při nastavování síly brzdiče mechanický siloměr s číselníkovým ukazatelem MS 32 viz obr. 3.4. Siloměr se skládá z měřícího členu, na němž je připevněn kalibrovaný číselníkový úchylkoměr (hodinky), s nichž se přímo odečítá síla v měřícím členu.



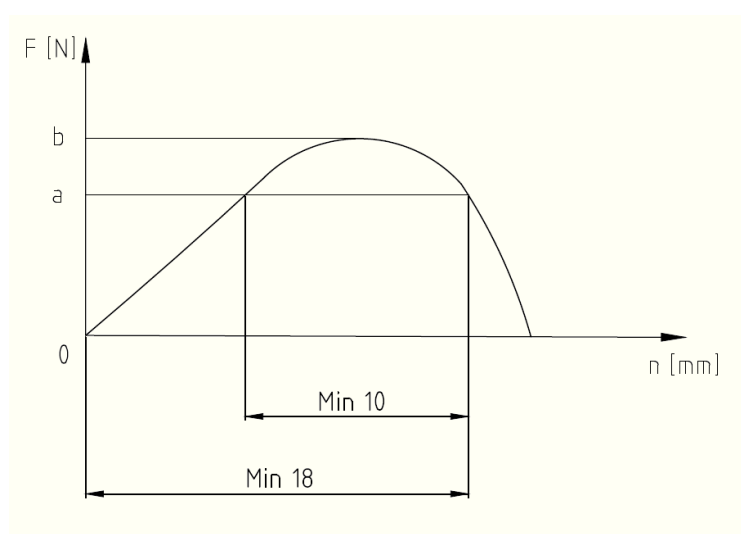
Obr. 3.3 - Stávající měřící přípravek MS 32

Při zkoušce nejprve dojde k ručnímu odbrzdění pomocí odbrzdovací páky, tím se uvolní pružina, stav na ukazateli se změní na „odbrzděno“ a odpojí se táhlo, které spojuje čelistovou brzdu s brzdičem. Pokud probíhá zkouška v laboratoři, dochází k demontáži brzdiče. Probíhá-li zkouška přímo na tramvaji, musí být zajištěno, aby měřící přístroj byl ve směru působící síly. Jedna strana měřícího zařízení se připevní pomocí čepu k pevnému rámu. Místo táhla se připojí druhý konec měřícího přístroje. Ručička ukazatele musí být v poloze „odbrzděno“.

Poté se ručně zajistí brzdič pomocí odbrzdovací páky, tím se uvede brzdič do provozu. Otáčením regulačního kolečka na siloměru se nastaví ukazatel brzdiče do polohy „zabrzděno“. Nyní začne pružina brzdiče působit silou na čep brzdiče díky

tříramenné páce a tím způsobí deformaci měřicího členu. Deformační síla způsobí průhyb měřicího členu a tento průhyb se zobrazí na číselníkovém úchylkoměru, který má stupnici kalibrovanou tak, že zobrazuje hodnotu v Newtonech.

Hlavním cílem měření je nastavit požadovanou sílu v brzdiči a zajistit jeho požadovaný zdvih. Tato síla se měří tak, že se pomocí otáčení regulačního kolečka nastavuje různá úroveň zdvihu a pomocí měření se zjišťuje závislost síly na zdvihu brzdiče. Toto měření se provádí minimálně v 10 různých úrovních zdvihů, jak lze vidět na obr. 3.4.



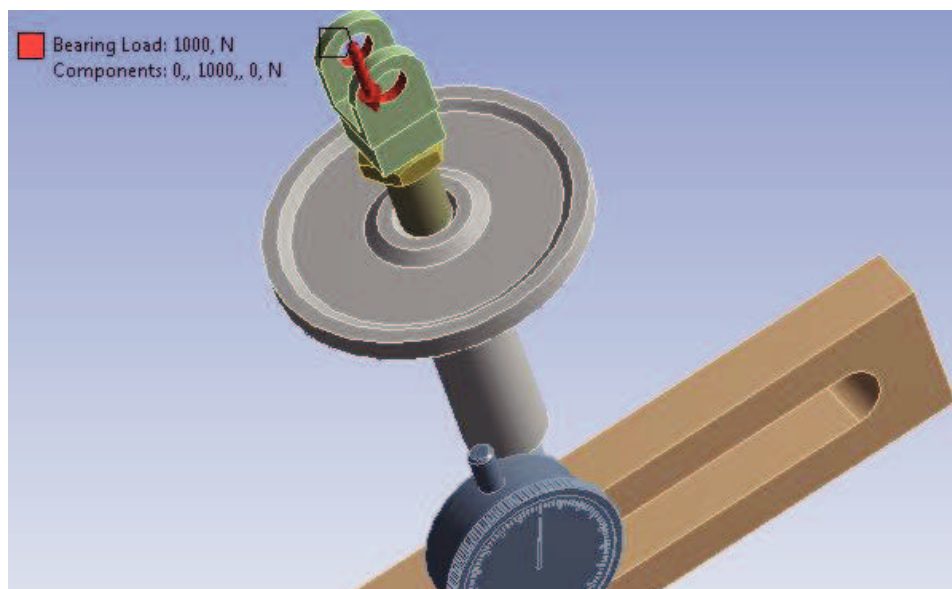
Obr. 3.4- Závislost síly na zdvihu brzdiče

3.4 Přesnost měření stávajícího zařízení

DPO uvádí, že při opakovaném měření na stejném brzdiči dochází k naměření rozdílných hodnot. Výsledná chyba takovýchto měření dosahují i hodnoty 10 %, což je hodnota příliš vysoká.

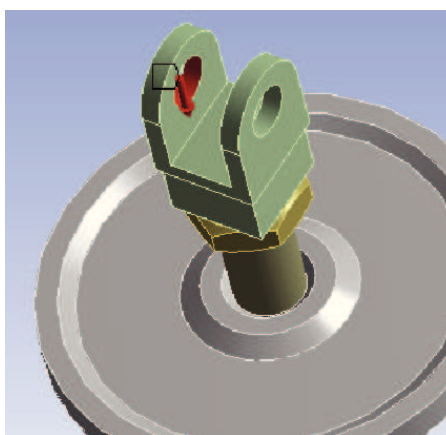
Premýšlel jsem, co může způsobovat tuto nepřesnost. Tuto problematiku jsem konzultoval i s vedoucím diplomové práce a dospěli jsme k závěru, že příčinou nepřesnosti může být mimoosý přenos síly v připojovacích třmenech.

K nejpřesnějšímu měření síly dochází, pokud je vidlice kolmo k ose měřiče a zatížení je rovnoměrně rozloženo na obě oka vidlice viz obr 3.5.

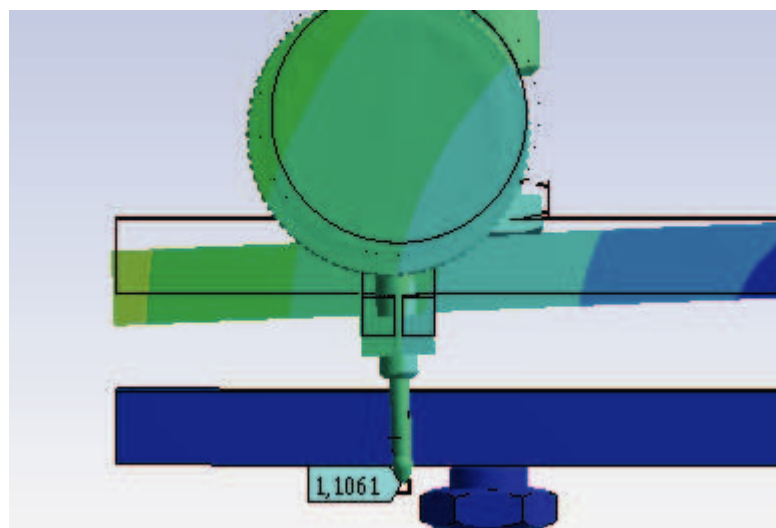


Obr. 3.5 - Souměrně zatížená vidlice kolmo k ose měřicího přípravku

Při extrémní situaci může dojít k přenesení zátěže pouze na jednu stranu vidlice, díky čemuž dojde k natočení měřicího členu a tím ke zkreslení měřeného výsledku. Pokud se zatíží část vidlice z levé strany (dále od měřicího úchylkoměru) viz obr. 3.6, dosáhne odchylka 7,45%.

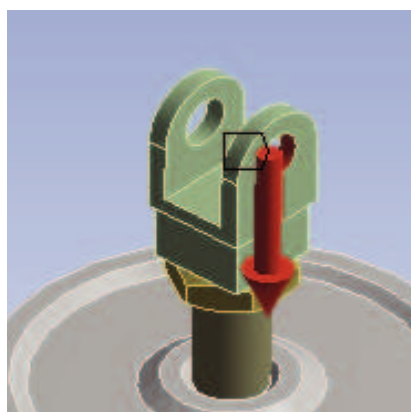


Obr. 3.6 - Zatížení vidlice pouze z levé strany

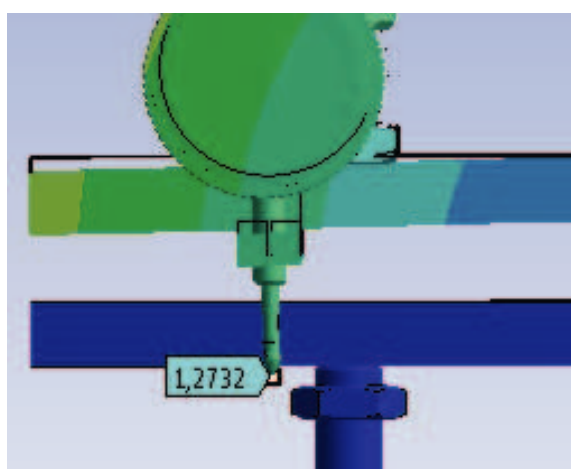


Obr. 3.7 - Výsledný posun měřicího hrotu při zatížení vidlice pouze z levé strany

Pokud se zatíží část vidlice z pravé strany (u měřicího členu) viz obr. 3.8, může odchylka dosáhnout 7,12%.



Obr. 3.8 - Zatížení vidlice pouze z pravé strany

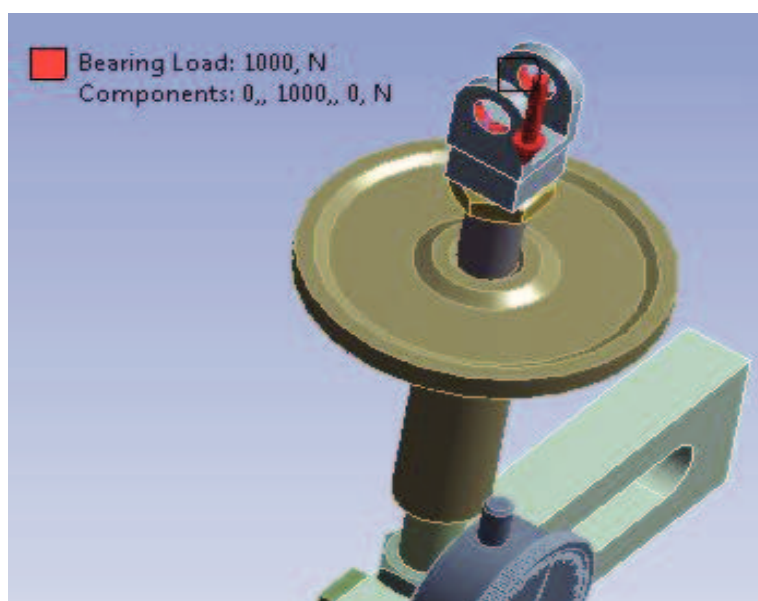


Obr. 3.9 - Výsledný posun měřicího hrotu při zatížení vidlice pouze z pravé strany

Tab. 3. 3 - Výsledné posuny měřicího hrotu při zatížení vidlice kolmo k ose třmenu

Současný přípravek – vidlice kolmo k ose přípravku	Posun měřicího hrotu [mm]	Odchylka měření [%]
Zatížení souběžně	1,1885	0
Zatížení na levé straně	1,1061	7,45
Zatížení na pravé straně (u měřicího členu)	1,2732	7,12

Pokud je vidlice při měření rovnoběžně s osou přípravku a zatíží se rovnoměrně obě strany vidlice, měření se může považovat za správné obr. 3.10.

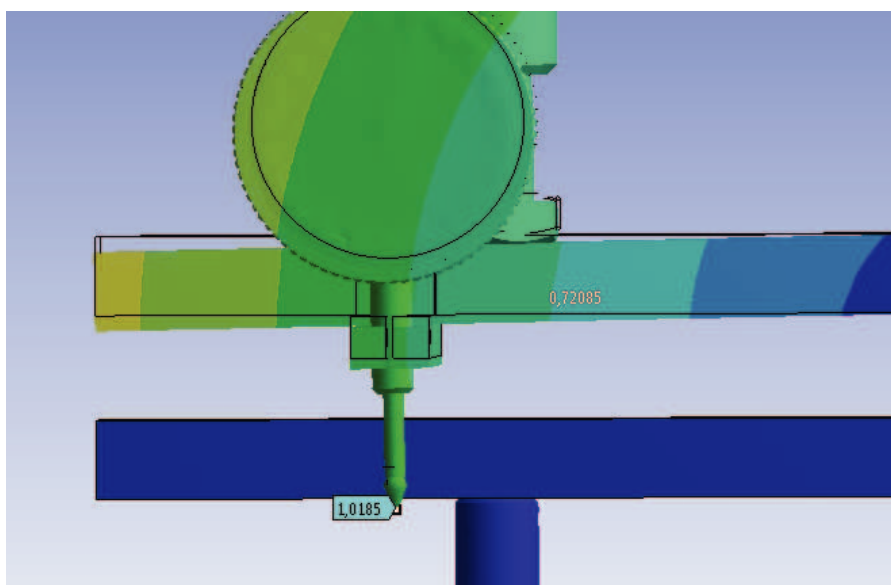


Obr. 3.10 - Souměrně zatížená vidlice rovnoběžně s osou měřicího přípravku

Jestliže však dojde k vychýlení působení síly směrem dále od čela přípravku viz obr. 3.11, dosahuje vypočtená odchylka v extrémním případě hodnoty 16,63%

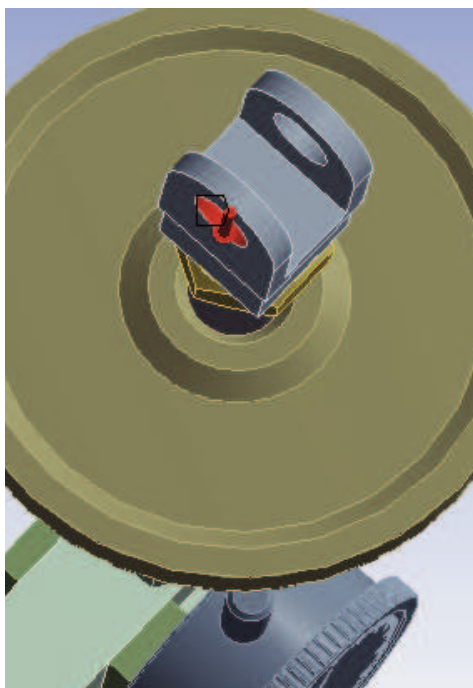


Obr. 3.11 - Zatížení vidlice dále od čela měřícího přípravku

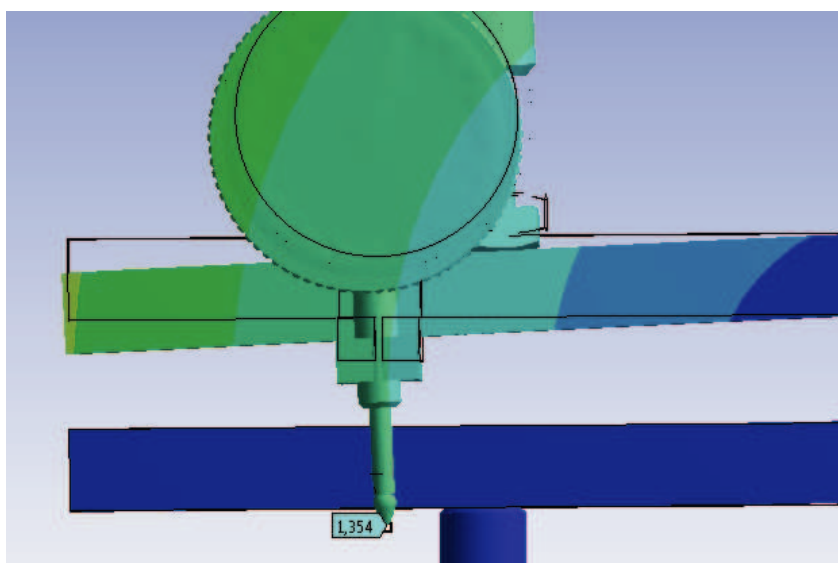


Obr. 3.12 - Výsledný posun měřícího hrotu při zatížení vidlice dále od čela měřícího přípravku

Dojde-li k zatížení blíže u čela přípravku viz obr. 3.12, může odchylka dosáhnout 13,98%



Obr. 3.13 - Zatížení vidlice u čelu měřícího přípravku



Obr. 3.14 - Výsledný posun měřícího hrotu při zatížení vidlice u čela měřícího přípravku

Tab. 3. 4 - Výsledné posuny měřícího hrotu při zatížení vidlice rovnoběžně s osou třmenu

Současný přípravek – vidlice rovnoběžně s osou přípravku	Posun měřícího hrotu [mm]	Odchylka měření [%]
Zatížení souběžně	1,1879	0
Zatížení dále od čela přípravku	1,0185	16,63
Zatížení blíže u čela přípravku	1,354	13,98

Tato analýza svědčí o správnosti předpokladu, že příčina nepřesnosti měření je tedy mimoosý přenos síly v připojovacích třmenech.

Na základě tohoto poznatku jsme se rozhodl vytvořit nové konstrukční řešení dané problematiky, které by eliminovalo nedostatky stávajícího zařízení a nebylo příliš finančně nákladné.

4 Vlastní návrh řešení problematiky

První navrhovanou možností je ponechat stávající způsob měření pomocí mechanického úchylkoměru, ale musí být zajištěno, aby se dodrželo rovnoměrné působení síly v ose měřiče. Tímto by pravděpodobně nedocházelo ke vzniku nežádoucích odchylek.

Další z možností konstrukčního řešení je využití elektrického - odporového způsobu měření síly. Při použití této technologie nebudou vznikat odchylky a působící síla se zobrazí na displeji, proto je tento způsob měření přesnější než mechanický.

Na základě těchto skutečností byly společnosti DPO navrženy 3 možnosti řešení a dodána analýza nákladů, silných a slabých stránek navržených řešení:

1. Konstrukční úprava stávajícího mechanického měřícího přípravku
2. Měřící přípravek s využitím odporových tenzometrů vlastní výroby
3. Měřící přípravek s využitím nakupovaného „S“ snímače

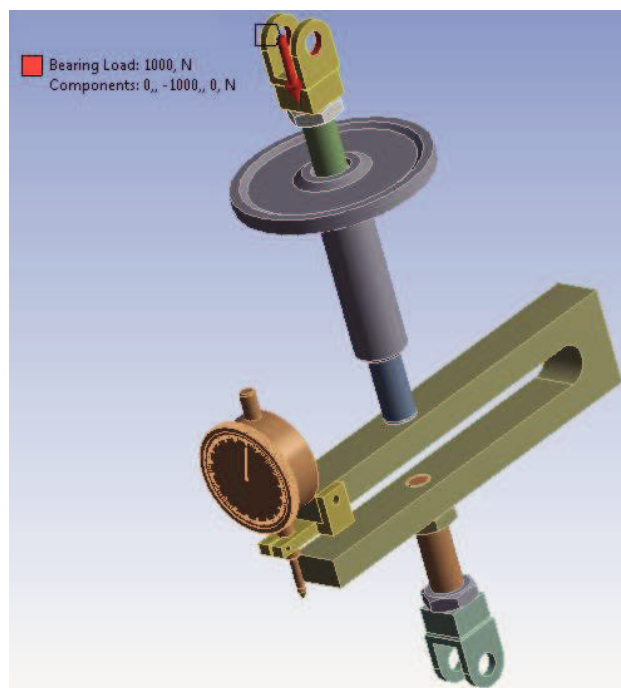
4.1 Konstrukční úprava stávajícího mechanického přípravku

Jednou z možností, jak snížit nedostatky původního řešení je zachovat stávající konstrukční řešení, ale změnit polohu měřiče průhybu – přesunout jej na čelo měřícího třmenu jak můžeme vidět na obr. 4.1



Obr. 4.1 - Konstrukční řešení s přesunutím měřícího úchylkoměru na čelo třmenu

Přesunutím měřiče průhybu dojde k tomu, že síla, která působí v ose šroubu, bude konstantní, nebude ovlivňována přenesením síly na jednu nebo druhou stranu vidlice. Tento závěr však platí pouze v situaci, kdy je vidlice kolmo k ose měřícího přípravku viz obr. 3.2. V tomto případě nedochází k významným odchýlkám ani tehdy, zatíží-li se nerovnoměrně pravá nebo levá strana vidlice měřícího přípravku, jak uvádí následující rozbor.



Obr. 4.2 - Souměrně zatížená vidlice kolmo k ose měřícího přípravku

Tab. 4.1 - Výsledné posuny měřícího hrotu při zatížení vidlice kolmo k ose třmenu

Vylepšený přípravek – vidlice kolmo s osou měřícího třmenu	Posun měřícího hrotu [mm]	Odchylka měření [%]
Zatížení souběžně	1,6042	0
Zatížení na levé straně	1,6032	0,06
Zatížení na pravé straně (u měřícího členu)	1,6035	0,04

Pokud nastane situace, že vidlice bude rovnoběžně s osou třmenu viz obr. 4.3, dochází ke zvětšení nebo zmenšení ohybového momentu vlivem změny působení zátěžové síly. Důsledkem toho nastane situace, že měření vykazuje značné odchylky.



Obr. 4.3 - Souměrně zatížená vidlice rovnoběžně s osou měřícího přípravku

Tab. 4.2 - Výsledné posuny měřicího hrotu při zatížení vidlice rovnoběžně s osou třmenu

Současný přípravek – vidlice rovnoběžně s osou měřicího třmenu	Posun měřicího hrotu [mm]	Odchylka měření [%]
Zatížení souběžně	1,6045	0
Zatížení dále od čela přípravku	1,2915	24,24
Zatížení blíže u čela přípravku	1,921	19,72

Vzniklé odchylky by se daly kompenzovat použitím kulové podložky, která by vyrovnala vyosení a navrátila působení síly do osy měřicího přípravku.

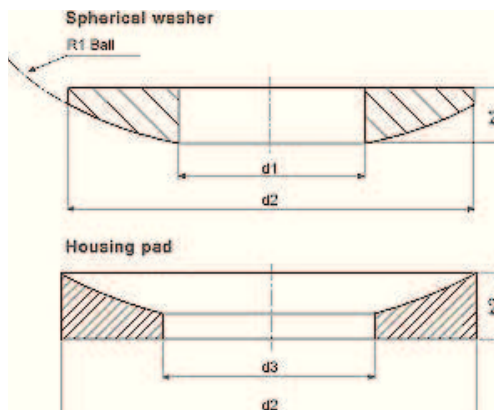
Kulová podložka pomáhá kompenzovat chyby a předcházet nepřesnému uložení. Pro toto konstrukční řešení byla zvolena podložka Iglidur®, která je vyrobena z kompozitního materiálu a má dobré vlastnosti skluзу a opotřebení v relativních pohybech. Deska kulové podložky je namontovaná hladce a zajištěna. Kulová podložka klouže v desce volně, drží ji ramenní hřídel, ke které je namontovaná.

Kulová podložka je konstruována na dlouhodobou maximální statickou axiální sílu 2500 N, což je dostačující pro daný konstrukční návrh.



Obr. 4.4 - Kulová podložka Iglidur [20]

Rozměry kulové podložky Iglidur [20]:



Obr. 4.5 – Rozměry kulové podložky [20]

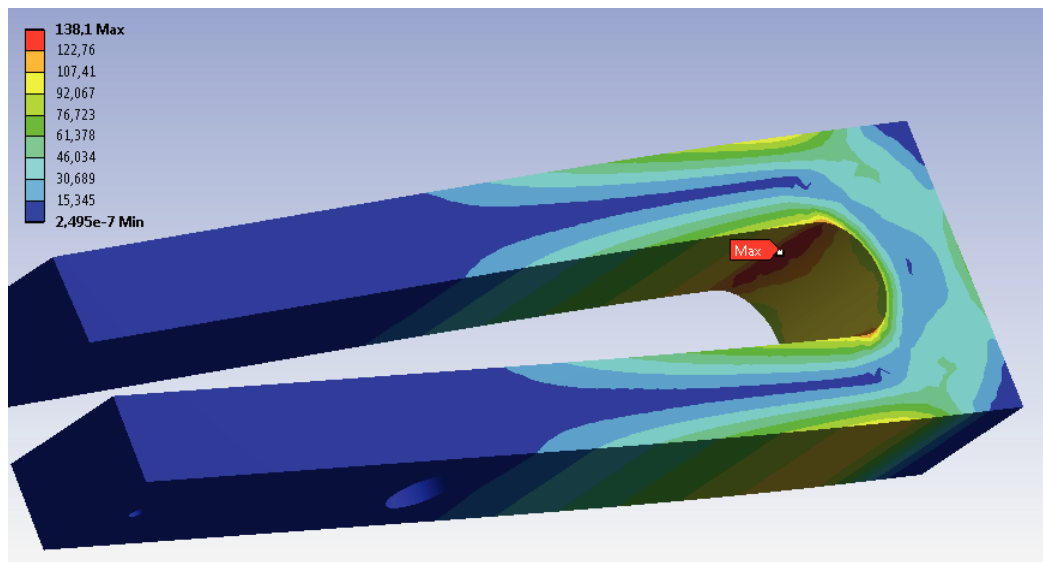
Tab. 4.3 - Rozměry kulové podložky Iglidur [20]

Typ DIN 7168	d1 kulová podložka [mm]	d3 pánev [mm]	d2 [mm]	h1 [mm]	h2 [mm]	H* celková výška [mm]	R1 rádius [mm]	úhel rovno váhy
SAM-06	6,2	7,5	16	3	4	5,3	16	3°

Pevnostní analýza měřicího třmenu:

Při provádění měření dochází k namáhání třmenu měřicího přípravku silou až 1000N, která působí na plochu kulové podložky. Je potřeba prověřit koeficient bezpečnosti materiálu, aby nedošlo k destrukci měřicího členu.

Třmen je vyroben za materiálu 12 060, jehož mez kluzu $Re_{12060} = 360$ MPa. Pomoci softwaru Ansys 14.0 bylo vypočteno výsledné maximální napětí $\sigma_{op} = 138,1$ MPa.



Obr. 4.6 - Deformační analýza měřicího třmenu v programu Ansys 14.0

Výsledná statistická bezpečnost:

$$k_s = \frac{R_{e12060}}{\sigma_{op}} = \frac{360}{138,1} = 2,6 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (4.1)$$

Výhody navrženého konstrukčního řešení:

- Odstranění nedostatků původního konstrukčního řešení
- Cena
- Jednoduchá přestavba stávajícího měřicího zařízení

Nevýhody navrženého konstrukčního řešení:

- Nepřesnost mechanického měření
- Ovlivnění výsledků měření klimatickými podmínkami
- Možnost vzniku chyby při odečítání hodnoty z úchylkoměru

4.2 Měřicí přípravek s využitím odporových tenzometrů vlastní výroby

V původních návrzích docházelo k měření průhybu mechanickým zařízením. Toto měření bylo nepřesné, protože mohlo docházet k vyosení působení zátěžové síly (v předchozím návrhu se řešilo použitím kulové podložky).

Následující konstrukční návrh vychází ze stávajícího měřicího přípravku. Hlavní změnou je, že nedochází k mechanickému měření průhybů, ale měříme napětí v měřícím třmenu pomocí elektrických odporových tenzometrů. Muselo také dojít ke změně tvaru měřicího třmenu.



Obr. 4.8 - Konstrukční návrh měřicího přípravku s použitím odporových tenzometrů

Základní princip tenzometrie:

Tenzometr funguje na principu změny odporu s deformací. Výchozí hodnota odporu plyne ze vztahu

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S} \quad (4.2)$$

Kde: l délka vodiče [m]

S průřez vodiče [mm²]

ρ měrný odpor vodiče [Ω.m]

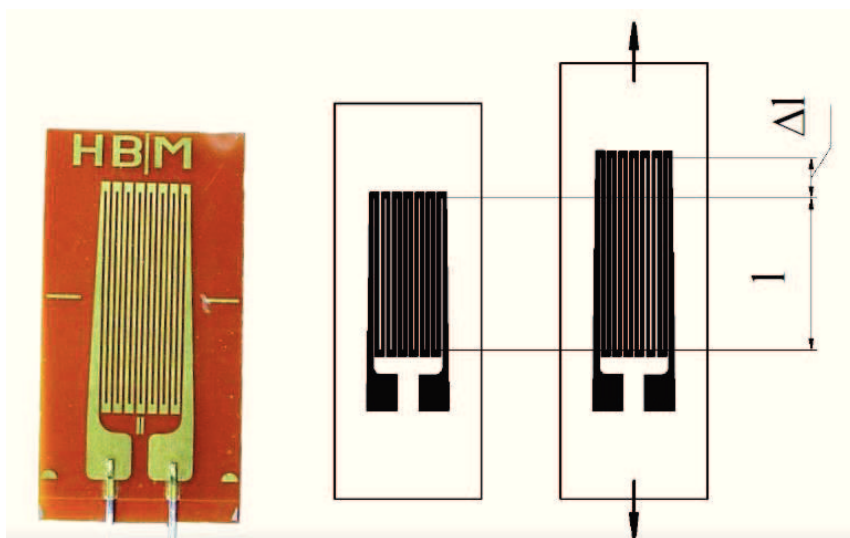
Tenzometr se upevní na povrch tělesa. Při působení síly je těleso deformováno, prodlužuje se a tím mění odpor o hodnotu ΔR , která je v definované oblasti přímo úměrná poměrnému prodloužení ε .

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4.3)$$

Poměrné prodloužení je bezrozměrná veličina, která je velmi malá a proto je vhodné ji vyjadřovat promilích ‰ nebo mikrostreinech $\mu\varepsilon$ nebo μS

Příklad přepočtu:

$$\varepsilon = 0,0003 = 0,03\text{‰} = 0,3\text{‰} = 300\mu\varepsilon \quad (4.4)$$



Obr. 4.9 - Základní princip tenzometrie

Hodnota změny odporu je závislá na:

- prodloužení délky vodiče l o Δl
- zmenšení průřezu vodiče S o příčnou kontrakci ΔS
- změně měrného odporu ρ

Velikost jednotlivých uvedených parametrů je obtížné přesně vyjádřit, proto je poměr mezi změnou elektrického odporu a poměrného prodloužení vyjádřen vztahem

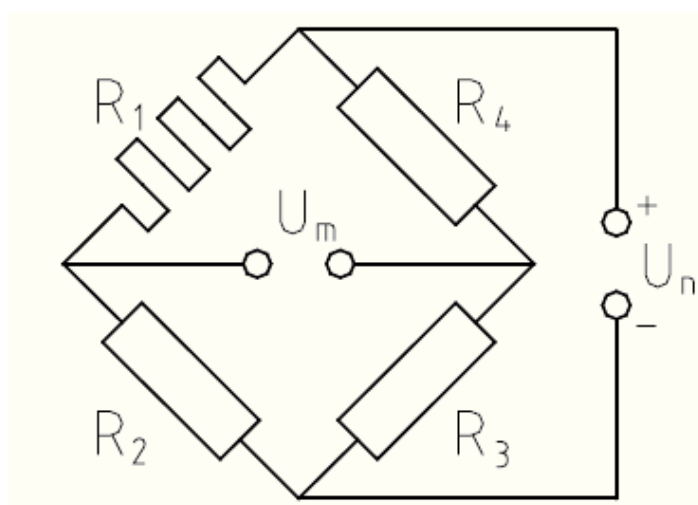
$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon \quad (4.5)$$

Kde: k je tzv. konstanta odporového tenzometru (je většinou blízká 2)

Nejčastějším způsobem zapojení odporových tenzometrů je pomocí Wheatstonova můstku.

Wheatstonův můstek

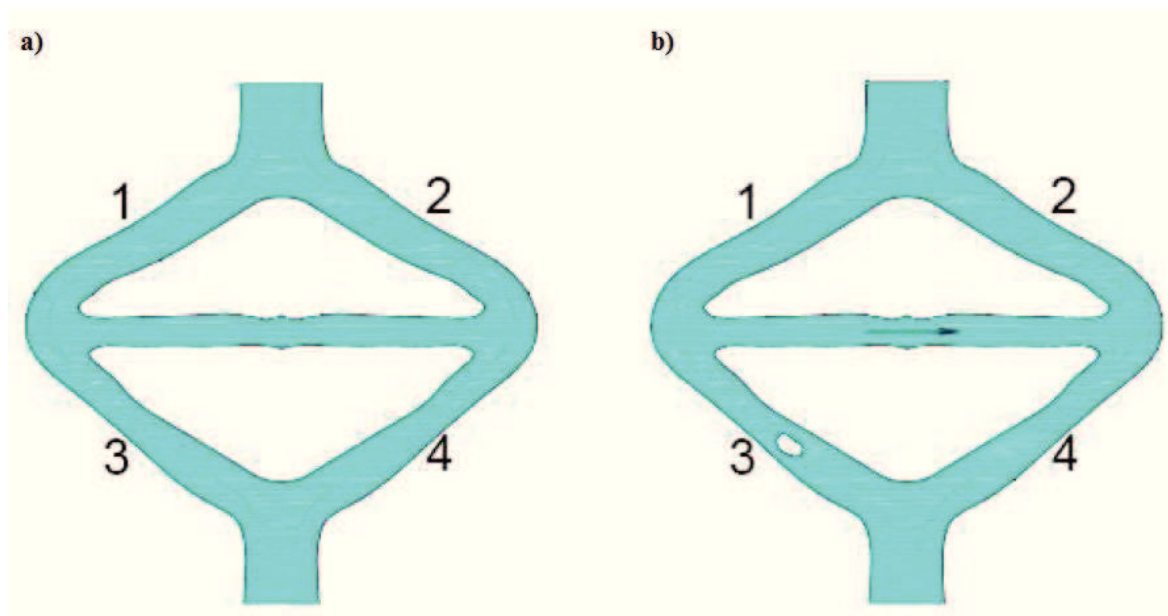
Základním principem je zapojení čtyř odporů do mostu podle obr. 4.10. V tomto zapojení je měřený tenzometr zapojen místo jednoho, dvou, tří nebo všech odporů.



Obr. 4.10 - Wheatstonův můstek

Budeme-li uvažovat, že jsou všechny čtyři odpory stejné, je možné princip činnosti vysvětlit dle obr. 4.11. Tento obrázek znázorňuje potok, který je pomocí dvou ostrůvků rozdělen na dvě ramena 1, 3 a 2,4. Mezi ostrůvky jsou jednotlivá ramena propojena.

V případě, že odpory proti průtoku vody v jednotlivých ramenech 1, 2, 3 a 4 jsou stejné, neproudí propojkou mezi ostrůvky žádná voda. V případě, že například do úseku 3 vložíme kámen, zvětší se odpor v tomto úseku a část vody začne proudit přes propojku z úseku 1 do úseku 4.



Stejné odpory ve všech větvích

Odpor proti průtoku v úseku 3 zvětšen

Obr. 4.11 - „Vodní“ model Wheatstonova můstku

Wheatsnovův můstek pracuje na obdobném principu. V případě, že všechny čtyři odpory $R_1 \dots R_4$ jsou shodné, neproudí přes uhlopříčku žádný proud a pokud umístíme galvanoměr do tzv. měřící uhlopříčky, nenastane výchylka

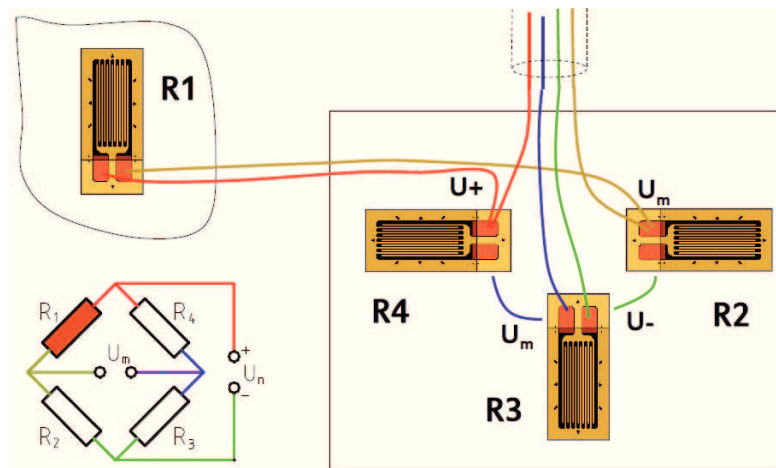
V reálném zapojení není nutné, aby všechny tenzometry měly stejný odpor. Musíme dodržet pouze vztah:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (4.6)$$

Tomuto stavu, který je vyjádřen rovnicí 4.6, říkáme vyvážený můstek.

Zapojení tenzometrů – plný most

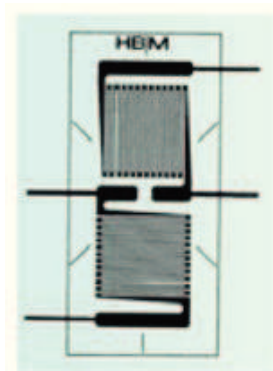
Pro měření je tenzometr vždy zapojen do úplného Wheatstonova můstku. Na obr. 3.10 je R_1 aktivní (měřicí) tenzometr, tenzometry R_2 až R_4 jsou nalepeny na oddělenou destičku a nemění s deformací měřeného tělesa svou hodnotu.



Obr. 4.12 - Zapojení plného můstku. Odpor R_1 je aktivní (měřicí)

Vlastní řešení:

Odporové tenzometry zakoupím od firmy HBM měřící technika s.r.o.. Jako nejvhodnější se jeví použít dva křížové tenzometry s označením 1-xy11-1,5/120, jejichž rozměry jsou 9x5 mm. Cena jednoho kusu je cca 600 Kč obr. 4.13. Pořízené tenzometry musí být nalepeny symetricky. Po jejich instalaci je nutné měřící přípravek zkalibrovat.



Obr. 4.13 - Křížový tenzometr od firmy Hottinger [22]

Výpočet výstupního napětí z tenzometrického mostu (teoretické)

V místě, kde jsou nalepeny tenzometry je maximální napětí $\sigma = 62,132 \text{ MPa}$ při dané síle $F = 1000 \text{ N}$.

Výpočet napětí:

$$\sigma = \frac{E \cdot \varepsilon}{10^3} \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma \cdot 10^3}{E} = \frac{62,132 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^5} = 0,2959 \text{ ‰} \quad (4.7)$$

Výpočet poměrného prodloužení při použití tenzometrické aparatury se zesílením 1 mV/V:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_m}{k \cdot n} \rightarrow U_m = \frac{\varepsilon \cdot n \cdot k}{4} = \frac{0,2959 \cdot 2,6 \cdot 2}{4} = 0,3846 \text{ V} \quad (4.8)$$

kde: $U_m \dots$ je výstupní napětí z tenzometrického mostu [V]

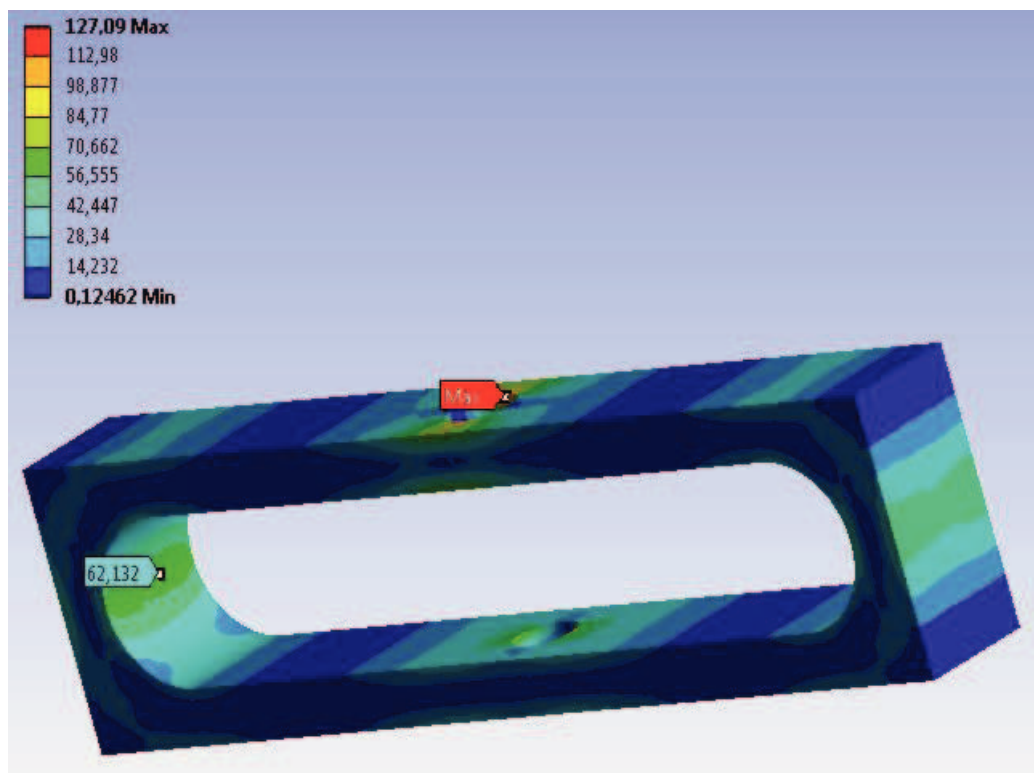
$E \dots$ je modul pružnosti měřeného materiálu [MPa]

$n \dots$ je počet „aktivních“ tenzometrů [-]

$k \dots$ je konstanta tenzometru [-]

Pevnostní analýza měřícího třmenu:

Vlivem použití tenzometrů muselo také dojít k úpravě tvaru měřícího členu. Třmen bude vyroben z materiálu 11 500, jehož mez kluzu $Re_{11500} = 260 \text{ MPa}$. Pomocí softwaru Ansys 14.0 bylo vypočteno výsledné maximální napětí $\sigma_{op} = 127,09 \text{ MPa}$.



Obr. 4.14 - Deformační analýza měřicího třmenu v programu Ansys 14.0

Výsledná statistická bezpečnost:

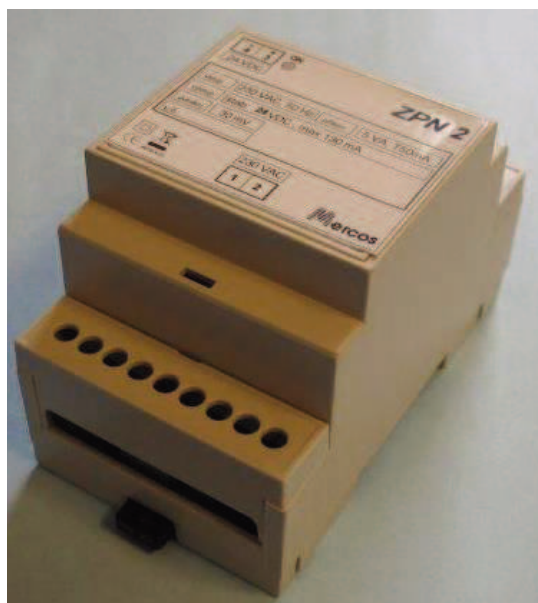
$$k_s = \frac{R_{e11500}}{\sigma_{op}} = \frac{260}{127,09} = 2,05 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (4.9)$$

Pro vyhodnocení naměřených údajů je možno použít například digitální, pětimístný, jednovstupý ukazatel od firmy Mercos, typ DMP 06.



Obr. 4.15 - Digitální ukazatel Mercos DMP 06 [23]

Pro daný ukazatel bude nejlepší použít zdroj napětí také od firmy Mercos, typ ZPN2. Výstupní napětí 24 VDC (+/- 5%) maximálně 130mA - 3,1W.



Obr. 4.16 - Zdroj napětí Mercos ZPN 2 [24]

Tab. 4.4 – Finanční analýza měřicího přípravku vlastní výroby s odporovými tenzometry

Položka	Cena [Kč]
Tenzometry a patky	1300
Zdroj napětí + kabeláž	900
Digitální ukazatel + kabeláž	3300
Montážní krabice + vypínač	1500
Práce	2000
Celkem	9000

4.3 Měřicí přípravek s využitím nakupovaného „S“ snímače

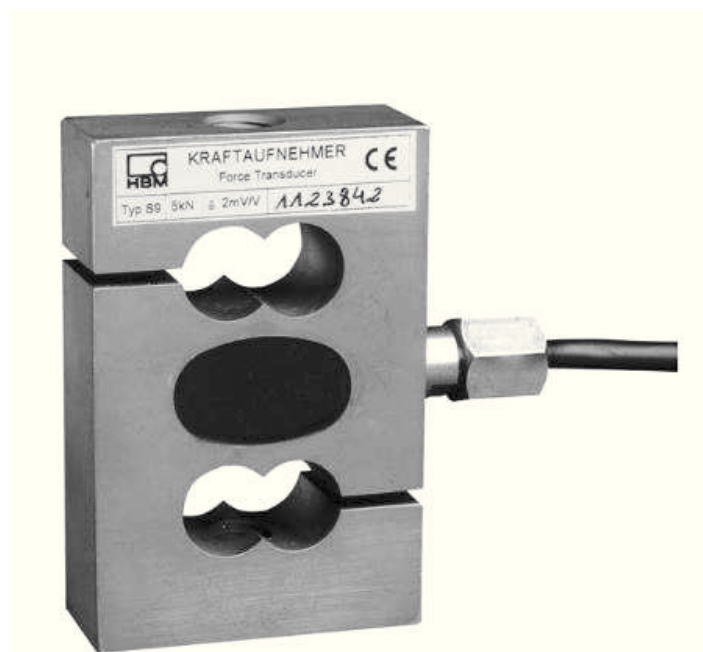
Konstrukční provedení je založeno na předchozím návrhu, pouze místo vyráběného snímače síly je použitý nakupovaný „S“ snímač. „S“ snímače získaly své pojmenování protože svým tvarem připomínají písmeno S.

„S“ snímač pracuje na stejném principu jako odporový tenzometrický člen vlastní výroby. Výhodou tohoto konstrukčního řešení je, že k výrobě tenzometrického snímače došlo v podniku, který se specializuje na tento typ výroby a má k dispozici nejmodernější technologie v daném oboru. Nakupovaný „S“ snímač musí být konstruovaný tak, aby odolal síle 1000 Newtonu.



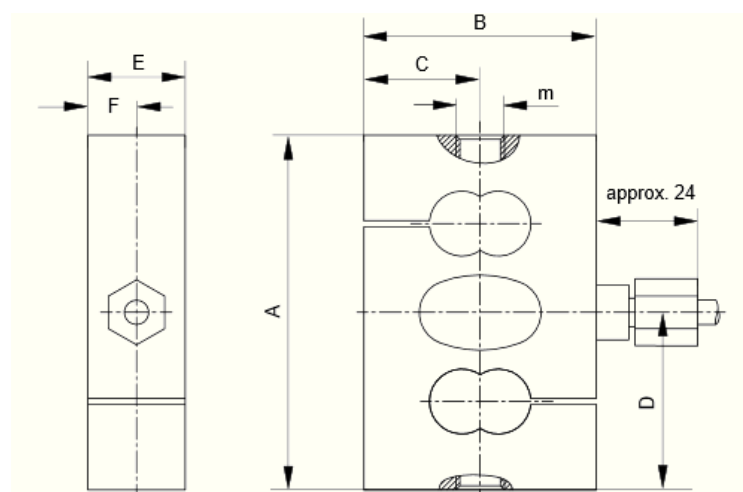
Obr. 4.17 - Konstrukční návrh měřícího přípravku s použitím „S“ snímače

Na trhu existuje několik společností, které se zabývají výrobou a prodejem „S“ snímačů. Jedna z nejznámějších společností zabývajících se touto činností je společnost Hottinger, jejichž snímače však patří do vyšší cenové kategorie.



Obr. 4.18 - „S“ snímač od společnosti Hottinger [22]

Rozměry snímače od společnosti Hottinger [22]:

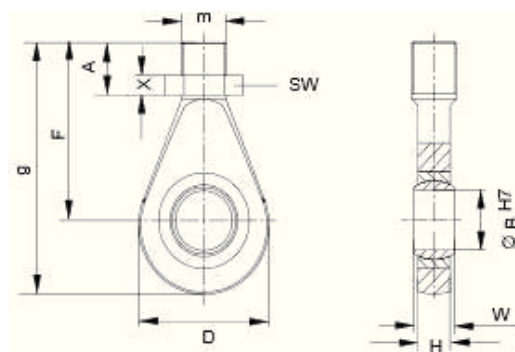


Obr. 4.19 – Rozměry snímače Hottinger

Tab. 4.5 – Rozměry „S“ snímače od společnosti Hottinger [22]

Síla [kN]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	m [mm]
2	87,3	57,2	28,6	43,7	24	12	M12

Pro větší přesnost měření doporučuje firma Hottinger použít pomocná uchycovací oka, která mají za úkol přenesení síly přímo do osy snímače. Rozměry uchycovacího oka jsou zobrazeny v tab. 4.6.



Obr. 4.20 - Uchycovací oko od společnosti Hottinger [22]

Tab. 4.6 - Rozměry uchycovacího oka od společnosti Hottinger [22]

Zatěžující síla [kN]	A [mm]	ϕB^{H7} [mm]	D [mm]	F [mm]	G [mm]	H [mm]	m [mm]	X [mm]	W [mm]
2	33,5	12	32	54,5	70	12	M12	7	16

Tab. 4.7 - Finanční analýza měřícího přípravku s „S“ snímačem od společnosti Hottinger

Položka	Cena [Kč]
„S“ snímač	25000
Uchycovací oko	1250
Zdroj napětí + kabeláž	900
Digitální ukazatel + kabeláž	3300
Montážní krabice + vypínač	1500
Práce	500
Celkem	32450

Měřící přípravek s použitím snímače do firmy Hottinger je příliš nákladný.

Alternativním řešením

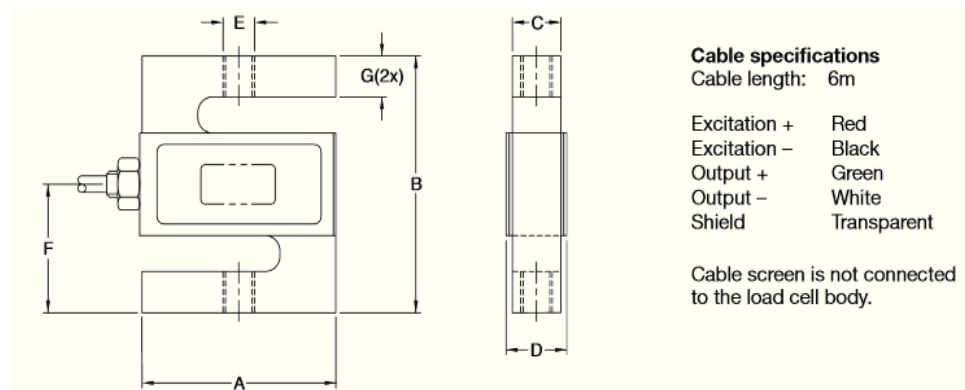
Cenově dostupnější a kritéria DPO splňující je snímač REVERE 363 od společnosti VISHAY PRECISION GROUP.



Obr. 4.21 - „S“ snímač Revere 363 [25]

Společnost VISHAY PRECISION GROUP nabízí snímač REVERE 363 s kapacitou 100 kg a 250 kg. Cenový rozdíl mezi nimi je 300 Kč. Výhodou snímače s kapacitou 250 kg je, že pokrývá požadovanou kapacitu a navíc jeho konstrukční provedení lépe vyhovuje podmínkám ve společnosti DPO. Tento typ umožňuje využít stávající konstrukce měřícího přípravku, došlo by pouze k záměně mechanického měřícího třmenu za „S“ snímač pomocí závitu M12. Snímač s kapacitou 100 kg umožňuje připojení pouze závitem M8, což by znamenalo konstrukční úpravu na připojovacích závitech. Rozměry snímače jsou v tabulce 4.8.

Rozměry snímače Revere 363 [25]:



Obr. 4.22 – Rozměry snímače Revere [25]

Tab. 4.8 - Rozměry snímače Revere 363 [25]

Zatížení (do kg)	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D _{max} [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]
250	50,8	61	18	22,9	M12x17– 6H	30,5	8,9

Součástí konstrukčního řešení musí být i nákup zdroje napětí a digitálního ukazatele, stejné jako v předchozím řešení.

Tab. 4.9 - Finanční analýza měřicího přípravku s „S“ snímačem REVERE 363

Položka	Cena [Kč]
„S“ snímač	3860
Zdroj napětí + kabeláž	900
Digitální ukazatel + kabeláž	3300
Montážní krabice + vypínač	1500
Práce	500
Celkem	10060

S tímto snímačem nemám ani já, ani vedoucí mé diplomové práce žádnou zkušenost. Na základě této skutečnosti by bylo nutné ověřit dlouhodobou stálost zařízení. Doporučuji provádět pravidelné půlroční prohlídky tohoto snímače např. závažím s ověřenou hmotností.

5 Pevnostní kontrola daných částí měřícího přípravku

Z důvodu bezpečnosti měřícího přípravku je potřeba provést pevnostní kontroly jednotlivých částí zařízení.

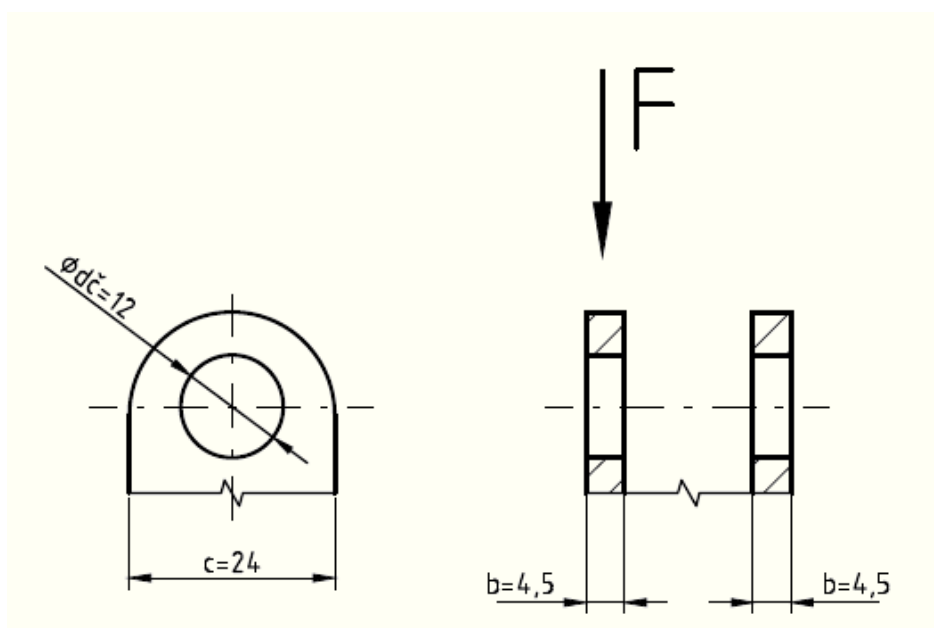
5.1 Vidlice

Do vidlice se přenáší síla od čepu brzdíče. Při extrémní situaci může celou danou sílu $F = 1000$ N přenášet pouze jedna strana obr. 4.1

Vidlice je vyrobena z ploché tyče jakosti 11 600 $\rightarrow Re_{11600} = 300$ MPa dle [1]. Vidlici je potřeba zkontrolovat na tah na bocích.

Výpočet napětí na bocích vidlice:

$$\sigma_{tk} = \frac{F}{S_v} = \frac{F}{b \cdot (c - d_{\check{c}})} = \frac{1000}{4,5 \cdot (24 - 12)} = 18,51 \text{ MPa} \quad (5.1)$$



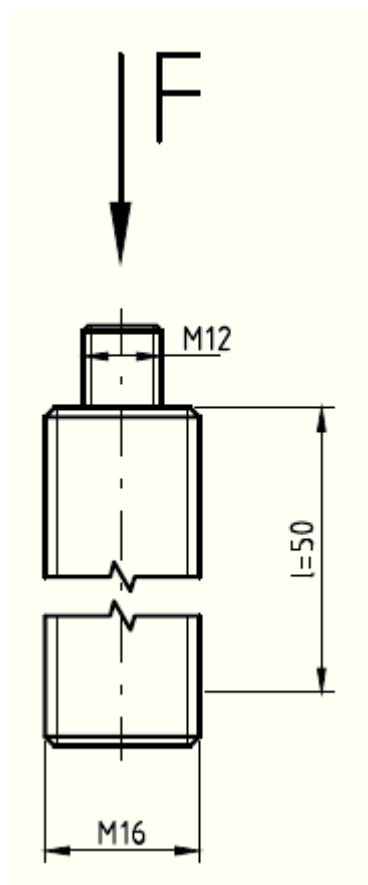
Obr. 5.1 – Schéma vidlice

Výsledná statická bezpečnost:

$$k_s = \frac{Re_{11600}}{\sigma_{tk}} = \frac{300}{150} = 16,2 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (5.2)$$

5.2 Závítová tyč

Závítová tyč slouží ke spojení vidlice s měřícím členem. Tyč kontroluji na vzpěr, samosvornost závitu M16 a délku zašroubovaných závitů M12 do měřícího členu.



Obr. 5.2 - Schéma působení síly na závítovou tyč

Tab. 5.1 - Charakteristické rozměry závitu M16 [1]

Jmenovitý průměr závitu d [mm]	Rozteč P [mm]	Průměry závitů [mm]			
		d = D	d ₂ = D ₂	d ₁ = D ₁	d ₃
16	2	16	14,701	13,835	13,546

Kontrola na vzpěr:

Výpočet minimálního kvadratického momentu

$$J_{min} = \frac{\pi}{64} \cdot d_3^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 13,546^4 = 1652,78 \text{ mm}^4 \quad (5.3)$$

Výpočet kritické síly

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{(n \cdot l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1652,78}{(0,65 \cdot 50)^2} = 3247077 \quad (5.4)$$

Podmínka stability

$$F_{krit} \geq F \quad (5.5)$$

$$3247077 \geq 1000 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Určení samosvornosti závitu M16

Úhel stoupání závitu ψ :

$$\psi = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{2}{\pi \cdot 14,701} = 2,47^\circ \quad (5.6)$$

Redukovaný třecí úhel φ :

$$\varphi = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}} = 9,83^\circ \quad (5.7)$$

$$\psi < \varphi$$

$$2,47^\circ < 9,83^\circ \rightarrow \text{závit } M16 \times 2 \text{ je samosvorný}$$

Kde P ... rozteč závitu

α ... úhel metrického závitu $\rightarrow \alpha = 30^\circ$

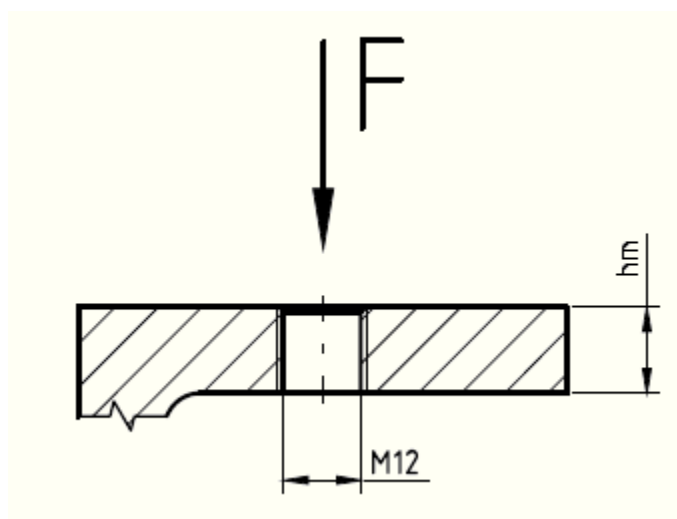
f_z ... součinitel smykového tření v závit $\rightarrow f_z = 0,15$

Potřebná délka zašroubované části závitů

Délka zašroubování závitu h_m [mm] určíme s ohledem na opotřebení závitu a vycházíme z kontroly měrného tlaku p_m v závitech. Čím menší je tlak v závitech, tím menší je opotřebení závitu. Dovolený měrný tlak v závitech $p_{Dm} = 20$ MPa [2], volím malý s ohledem na co nejmenší opotřebení závitu v závislosti na materiál držáku a šroubu, na trvání a počtu změn vratného pohybu a kluzné rychlosti v závitu. Parametry závitu M12 jsou uvedeny v tabulce 5.2

Tab. 5.2 - Charakteristické rozměry závitu M12 [1]

Jmenovitý průměr závitu d [mm]	Rozteč P [mm]	Průměry závitů [mm]			
		$d = D$	$d_2 = D_2$	$d_1 = D_1$	d_3
12	1,75	12	10,863	10,106	9,853



Obr. 5.3 - Schéma minimálního zašroubovaného závitu

Z kontroly měrného tlaku v závitech vypočteme potřebný počet závitů:

$$p_m \leq p_{Dm} \quad (5.8)$$

$$\frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot z} \leq p_{Dm}$$

$$z \geq \frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_{Dm}} \geq \frac{1000}{\pi \cdot 10,836 \cdot 0,947 \cdot 20} \geq 1,55 \text{ závitů}$$

Nosnou hloubku závitů H_1 určíme ze vztahu:

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{12 - 10,106}{2} = 0,947mm \quad (5.9)$$

Minimální délka zašroubování h_m

$$h_m = z \cdot P = 1,55 \cdot 1,75 = 2,71 \leq 8,9 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (5.10)$$

6 Závěr

V úvodu práce jsem zpracoval rešerši na téma metody měření sil. Byly popsány a definovány jednotlivé typy snímačů včetně konkrétních prodáváných na trhu.

Příčinou nepřesnosti stávajícího mechanického měřiče síly MS 32, je umístění snímače průhybu třmenu mimo osu měřicího přípravku. Při rovnoměrném zatížení vidlice měřicího přípravku, můžeme považovat měření za adekvátní, avšak skutečnost mimo osového působení síly způsobuje odchylky.

Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků mechanického měření bylo nutno přistoupit ke změně stávajícího konstrukčního řešení, a to tak, že snímací zařízení je nutno umístit v podélné ose třmenu. Přesnost tohoto mechanického měření je zaručena pouze za předpokladu dodržení vzájemně kolmé polohy třmenu vůči vidlici. Pro případ nedodržení výše uvedeného je nutno kompenzovat nesouosost síly pomocí kulové podložky. Další z ověřených variant, kterou lze zajistit dostatečnou přesnost měření, je nasazení uzavřeného třmenu s lepenými tenzometry. Poslední z navržených variant je založena na aplikaci kalibrovaného detekčního snímače síly s garantovanou mírou přesnosti.

Četnými úvahami a propočty bylo dosaženo závěru, že problematiku měřicího přípravku pro nastavování síly brzdiče lze řešit různorodými alternativami od mechanického provedení se stávajícím snímačem průhybu až po alternativu s využitím elektrotechnických snímačů. Jako nejpřesnější variantu hodnotím alternativu s použitím nakupovaného S snímače díky specializaci, garancím a letitým zkušenostem výrobce daných snímačů. Společnosti lze také nabídnout variantu s nižší finanční náročností, která je založena na obdobném mechanickém měření průhybu měřicího třmenu, nebo nákladnější variantu měřicího třmenu osazeného křížovými tenzometry.

Po konzultaci se zadavatelem a vedoucím mé diplomové práce, jsem zhotovil výkresovou dokumentaci pro Měřicí přípravek s využitím odporových tenzometrů vlastní výroby.

7 Seznam použité literatury

Knihy a příručky

- [1] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. Druhé doplněné vydání Úvaly: Albra – Pedagogické nakladatelství, 2005, ISBN 80-7361-011-6.
- [2] KALÁB, K.: Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1290-8..
- [3] KALÁB, K.: Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1860-3.
- [4] NĚMEC, Ing. Jindřich. Odporové tenzometry v praxi. Nakladatelství technické literatury. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1967.
- [5] CHLUMSKÝ, Ing. Miloslav a Ing. Miroslav ŠIMONOVSKÝ. *Síla a mechanické zkoušky materiálu*. Praha: technické literatury ve Středisku interních publikací, 1948.
- [6] SÁSIK, CSC, Doc. Ing. Jan. Viaczožkové snímače síl a momentov: Meranie, testovanie a kalibrácia. Bratislava: Nakladatelství STU Bratislava, Vozova 5, 1999. ISBN 80-227-1438-0.
- [7] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990, Technický průvodce. ISBN 80-030-0426-8.
- [8] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. 5., přeprac. vyd. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL, 1989, Česká matice techn. ISBN 80-030-0046-7.
- [9] NĚMEC, Jaroslav. Pružnost a pevnost ve strojírenství. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1989, ISBN 80-030-0193-5.
- [10] KORBAŘ, T.; STRÁNSKÝ, A. Technický slovník naučný. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. ISBN 04-029-63
- [11] DRASTÍK, DRSC., Prof. Ing. F. a Doc. Ing. J. ELFMARK, DRSC. A KOL. *Plastomery a tvařitelnost kovů*. Praha: SNTL -nakladatelství technické literatury, 1977.
- [12] ZEHNULA, CSC, Doc. Ing. Karel. *Snímače neelektrických veličin*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1983.

Internetové zdroje

- [14] Pružinový siloměr 100 kg/1000 g. *Sometcz* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.sometcz.com/obchod/teplomery-vahy-a-silomery/vahy-a-silomery/pruzinove-valcove-silomery/pruzinovy-silomer-100kg-1000g>
- [15] Mechanický siloměr sauter fa 10. *Puhy.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.puhy.cz/mechanicky-silomer-sauter-fa-10-5436.html>
- [16] Ruční páčkový siloměr 2 -20 N. *Sometcz* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.sometcz.com/obchod/teplomery-vahy-a-silomery/vahy-a-silomery/rucni-packovy-silomer-2-20-n#tab_tab1

- [17] Hydraulický siloměr Tecsis model F1108. *OEM automatic* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Tlak_a_prtok/Midla_snimae_tlaku_a_teploty_spinae/Hydraulicke_snimae_sily/Tecsis_Hydraulicke_snimae_sily/594809-308128.html
- [18] Siloměr FG 6100 SD. *Micronix* [online]. 2009 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://eshop.micronix.cz/merici-technika/neelektricke-veliciny/sila/lutron-fg-6100-sd.html>
- [19] Profesionální siloměr Sauter FH 1K. *DNA elektro* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.dnaelektro.cz/profesionalni-silomer-sauter-fh-1k/d-71884/>
- [20] Kulové axiální ložisko. *Igus plastics for longer life* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.igus.cz/wpck/2499/igubal_sphaerische_Axiallager
- [21] Technický experiment. *Doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/staff/folta/menu.htm>
- [22] Křížový tenzometr 1-xy11-1,5/120. *HBM měřící technika s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.hbm.cz/>
- [23] Digitální ukazatel s příslušenstvím pro tenzometrické snímače. *Mercos* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.mercos.cz/projekt/produkty-digitalni-ukazatel-tenzometr-dmp06>
- [24] Stabilizovaný napájecí zdroj. *Mercos* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.mercos.cz/projekt/produkty-stabilizovany-napajeci-zdroj-230v-DIN-lista-zpn2>
- [25] Tenzometrický snímač Revere 363/250kg. *Váhy Robin* [online]. 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.tenzometricky-snimace.cz/Tenzometricky-snimac-Revere-363-250kg-d715.htm>

8 Seznam příloh

NÁZEV	ČÍSLO VÝKRESU	FORMÁT
PŘÍPRAVEK S TENZOMETRY	STA0041-DP	A2
MĚŘÍCÍ ČLEN	STA0041-DP-01	A3
PRAVOLEVÁ MATICE	STA0041-DP-02	A3
ZÁVITOVÝ SVORNÍK	STA0041-DP-03	A4
ZÁVITOVÝ SVOR. LEVÝ	STA0041-DP-04	A4
VIDLICE	STA0041-DP-05	A4
VIDLICE LEVÝ ZÁVIT	STA0041-DP-06	A4